

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 034**

21 Número de solicitud: 202390168

51 Int. Cl.:

E21B 33/12 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

28.05.2021

30 Prioridad:

28.05.2021 US 17/334,099

43 Fecha de publicación de la solicitud:

31.01.2024

71 Solicitantes:

HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.
(100.0%)
3000 N. Sam Houston Parkway E.
77032-3219 Houston TX Texas US

72 Inventor/es:

GRECI, Stephen Michael;
FRIPP, Michael Linley y
LEAST, Brandon T.

74 Agente/Representante:

FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás

54 Título: **METAL EXPANDIBLE DE FRAGUADO RÁPIDO**

57 Resumen:

Metal expandible de fraguado rápido.

Se proporciona una herramienta de fondo de pozo, un método para sellar dentro de un sistema de pozo y un sistema de pozo. La herramienta de fondo de pozo, en al menos un aspecto, incluye un tubular, y uno o más elementos de sellado metálicos expandibles colocados sobre el tubular. En al menos un aspecto, el uno o más elementos de sellado metálicos expandibles comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA: V) de al menos 2 cm^{-1} .

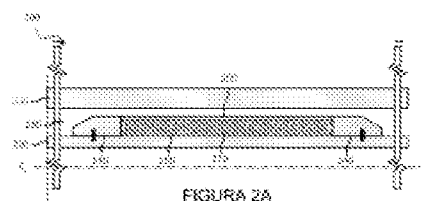


FIGURA 2A

ES 2 958 034 A2

DESCRIPCIÓN

METAL EXPANDIBLE DE FRAGUADO RÁPIDO

5 Referencia cruzada a la solicitud relacionada

Esta solicitud reclama prioridad a la Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 17/334,099, presentada el 28 de mayo de 2021, titulada "RAPID SETTING EXPANDABLE METAL", asignada comúnmente con esta solicitud e incorporada aquí en su totalidad por referencia.

Antecedentes

Los dispositivos de sellado y anclaje, entre otros dispositivos relacionados, son comunes en aplicaciones de petróleo y gas. Desafortunadamente, los dispositivos de sellado y anclaje de hoy en día están limitados por los materiales que los componen y las condiciones en las que se instalan. Específicamente, el material elegido y las condiciones en el fondo de pozo a menudo limitan la rapidez con la que se pueden instalar los dispositivos de sellado y anclaje actuales.

Breve descripción

Se hace referencia ahora a las siguientes descripciones tomadas en conjunto con los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 ilustra un sistema de pozo diseñado, fabricado y operado de acuerdo con una o más modalidades de la descripción, el sistema de pozo que incluye una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una o más modalidades de la descripción;

Las Figuras 2A a 2C ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

Las Figuras 3A a 3C ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

Las Figuras 4A a 4C ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

5

Las Figuras 5A a 5C ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- 10 Las Figuras 6A a 6C ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- 15 Las Figuras 7A a 7C ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- 20 Las Figuras 8A a 8E ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- 25 Las Figuras 9A a 9E ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- Las Figuras 10A a 10E ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- 30 Las Figuras 11A a 11D ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción;

- 35 Las Figuras 12A a 12D ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción; y

Las Figuras 13A a 13D ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción.

5 Descripción detallada

En los dibujos y descripciones que siguen, las partes similares suelen estar marcadas en toda la descripción y los dibujos con los mismos números de referencia, respectivamente. Las Figuras dibujadas no necesariamente están a escala. Ciertas características de la descripción pueden mostrarse exageradas en escala o de forma esquemática y algunos detalles de ciertos elementos pueden no mostrarse con el fin de lograr claridad y concisión. La presente descripción se puede implementar en modalidades de diferentes formas.

- 15 Se describen en detalle modalidades específicas y se muestran en los dibujos, con la comprensión de que la presente descripción se considera una ejemplificación de los principios de la descripción y no pretende limitar la descripción a lo ilustrado y descrito aquí. Es importante reconocer plenamente que las diferentes enseñanzas de las modalidades discutidas aquí pueden ser utilizadas por separado o en cualquier combinación adecuada para obtener los resultados deseados.

A menos que se especifique lo contrario, el uso de los términos "conectar", "enganchar", "acoplar", "unir" o cualquier otro término similar que describa una interacción entre elementos no pretende limitar la interacción a una interacción directa entre los elementos y también puede incluir una interacción indirecta entre los elementos descritos. A menos que se especifique lo contrario, el uso de los términos "arriba", "superior", "hacia arriba", "hacia el pozo", "aguas arriba" u otros términos similares se interpretará generalmente como hacia la superficie del suelo; de la misma manera, el uso de los términos "abajo", "inferior", "hacia abajo", "hacia el fondo de pozo" u otros términos similares se interpretará generalmente como hacia el fondo, extremo terminal de un pozo, independientemente de la orientación del pozo. El uso de cualquiera de los términos anteriores, ya sea uno o más, no debe interpretarse como indicativo de posiciones a lo largo de un eje perfectamente vertical. A menos que se especifique lo contrario, el uso del término "formación subterránea" se entenderá como que abarca tanto las áreas debajo de la tierra expuesta como las áreas debajo de la tierra cubiertas por agua, como el océano o agua dulce.

La presente descripción ha reconocido que los dispositivos de sellado y/o anclajes actuales, especialmente aquellos que utilizan materiales elastoméricos convencionales, tienen ciertas desventajas. Específicamente, la presente descripción ha reconocido que los límites de alta temperatura, los límites de sellado a baja temperatura, los problemas de arrastre durante la ejecución, los problemas de extrusión con el tiempo y la incapacidad para adaptarse a formas irregulares, entre otros problemas asociados con los dispositivos convencionales de sellado y/o anclaje elastoméricos, hacen que dichos dispositivos de sellado y/o anclaje sean menos deseables en ciertas aplicaciones. La presente divulgación, basada en estas afirmaciones, ha reconocido así que los dispositivos de sellado y/o anclaje que emplean metal expandible/expandido abordan muchas de las preocupaciones relacionadas con los dispositivos de sellado y/o anclaje que utilizan materiales elastoméricos convencionales.

La presente descripción ha reconocido además que es importante que los dispositivos de sellado y/o anclajes expandibles/expansibles de metal se fijen rápidamente, por ejemplo, para competir con los dispositivos de sellado y/o anclajes hidráulicos y/o mecánicamente accionados tradicionales. La presente descripción ha reconocido que el metal expandible solo reacciona en las superficies expuestas, y, por lo tanto, al aumentar el área superficial, la reacción química necesaria para fijar los dispositivos de sellado y/o anclaje de metal expandible/expandido puede aumentar considerablemente. En consecuencia, la presente descripción detalla muchas formas de aumentar la superficie expuesta del metal expandible.

La Figura 1 ilustra un sistema de pozo 100 diseñado, fabricado y operado de acuerdo con una o más modalidades de la descripción, el sistema de pozo 100 incluye una herramienta de fondo de pozo 150 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una o más modalidades de la descripción. La herramienta de fondo de pozo 150, en al menos una modalidad, es una herramienta de sellado y/o anclaje, y por lo tanto puede incluir uno o más elementos de sellado 155. Los términos "herramienta de sellado" y "elemento de sellado", tal como se utilizan aquí, se refieren tanto a herramientas y elementos que sellan dos superficies juntas, como a herramientas y elementos que anclan dos superficies juntas.

El sistema de pozo 100 incluye un pozo 110 que se extiende desde una superficie terrestre 120 hacia una o más zonas subterráneas 130. Cuando se complete, el sistema de pozo 100 puede configurarse para producir fluidos del yacimiento y/o inyectar fluidos en las zonas subterráneas 130. Como los expertos en la materia aprecian, el pozo 120

puede estar completamente revestido, parcialmente revestido o ser un pozo sin revestir. En la modalidad ilustrada de la Figura 1, el pozo 110 está al menos parcialmente revestido, y por lo tanto está revestido con tubería o revestimiento 140. La tubería o revestimiento 140, como se muestra, puede ser mantenida en su lugar por cemento 145.

5

Un ejemplo de herramienta de fondo de pozo 150, en una o más modalidades, está acoplada a un transportador 160 que se extiende desde una cabeza de pozo 170 hacia el pozo 110. El transportador 160 puede ser un tubo en espiral y/o una sarta de tubería acoplada extremo a extremo, entre otros, y permanecer dentro del alcance de la descripción. Por ejemplo, el transportador 160 puede ser una sarta de trabajo, una sarta de inyección y/o una sarta de producción. En al menos una modalidad, la herramienta de fondo de pozo 150 puede incluir un tapón puente, tapón de fractura, empacador y/o otra herramienta de sellado, que tiene uno o más elementos de sellado 155 para sellar contra la pared del pozo 110 (por ejemplo, la tubería 140, un revestimiento y/o la roca desnuda en un contexto de agujero abierto). El uno o más elementos de sellado 155 pueden aislar un intervalo del pozo 110 por encima del uno o más elementos de sellado 155, de un intervalo del pozo 110 por debajo del uno o más elementos de sellado 155, por ejemplo, para que pueda existir una diferencia de presión entre los intervalos.

10

15

20

25

De acuerdo con una modalidad de la descripción, la herramienta de fondo de pozo 150 puede incluir un elemento tubular (por ejemplo, mandril, tubería base, etc.), así como uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del elemento tubular, los cuales comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y que tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} . De acuerdo con otra modalidad de la descripción, la herramienta de fondo de pozo 150 puede incluir un miembro tubular, así como una colección de trozos individuales separados de metal expandible posicionados alrededor del miembro tubular, la colección de trozos individuales separados de metal expandible comprendiendo un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis.

30

Los resultados son uno o más elementos de sellado de metal expandible que se extienden entre dos superficies. El término metal expandible, tal como se utiliza aquí, se refiere al metal expandible en su forma antes de la expansión. De manera similar, el término metal expandido, tal como se utiliza aquí, se refiere al metal expandido resultante después de que el metal expandible ha sido sometido a un fluido reactivo, como se discute a continuación. El metal expandible, de acuerdo con uno o más aspectos de la descripción, comprende un metal que se ha expandido en respuesta a la hidrólisis.

35

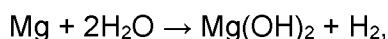
En ciertas modalidades, el metal expandido incluye metal residual sin reaccionar. Por ejemplo, en ciertas modalidades, el metal expandido está diseñado intencionalmente para incluir el metal residual sin reaccionar. El metal residual sin reaccionar tiene la ventaja de permitir que el metal expandible se auto-repare si se producen grietas u otras anomalías posteriormente, o, por ejemplo, para adaptarse a cambios en el diámetro del tubo o mandril debido a variaciones en la temperatura y/o presión. Sin embargo, pueden existir otras modalidades en las que no exista metal residual sin reaccionar en el metal expandido.

El metal expandible, en algunas modalidades, puede ser descrito como expandiéndose a un material similar al cemento. En otras palabras, el metal expandible pasa de ser metal a partículas a escala de micrones y luego estas partículas se expanden y se bloquean entre sí para, en esencia, sellar dos o más superficies juntas. La reacción puede, en ciertas modalidades, ocurrir en menos de 2 días en un fluido reactivo y a temperaturas de fondo de pozo. Sin embargo, el tiempo de reacción puede variar dependiendo del fluido reactivo, del metal expandible utilizado, de la temperatura en el fondo de pozo y, como se discute en detalle en este documento, de la relación de área superficial a volumen (SA:V) del metal expandible.

En algunos modos de realización, el fluido reactivo puede ser una solución salina, como la que se puede producir durante las actividades de terminación de pozos, y en otros modos de realización, el fluido reactivo puede ser una de las soluciones adicionales discutidas en este documento. El metal expandible es eléctricamente conductor en ciertas modalidades. El metal expandible puede ser mecanizado a cualquier tamaño/forma específica, extruido, formado, fundido u otras formas convencionales para obtener la forma deseada de un metal, como se discutirá con más detalle a continuación. En al menos algunas modalidades, el metal expandible es una colección de trozos individuales separados de metal expandible. El metal expandible, en ciertas modalidades, tiene una resistencia a la tracción mayor a aproximadamente 8,000 psi, por ejemplo, 8,000 psi +/- 50 %.

La hidrólisis del metal expandible puede crear un hidróxido de metal. Las propiedades formativas de los metales alcalinotérreos (Mg - Magnesio, Ca - Calcio, etc.) y los metales de transición (Zn - Zinc, Al - Aluminio, etc.) bajo reacciones de hidrólisis demuestran características estructurales que son favorables para su uso con la presente descripción. La hidratación resulta en un aumento de tamaño debido a la reacción de hidratación y produce un hidróxido de metal que puede precipitar del fluido.

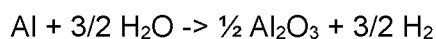
Las reacciones de hidratación para el magnesio son:



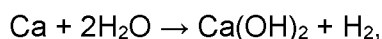
5

donde $\text{Mg}(\text{OH})_2$ también es conocido como brucita. Otra reacción de hidratación utiliza la hidrólisis de aluminio. La reacción forma un material conocido como Gibbsita, bayerita, boehmita, óxido de aluminio y norstrandita, dependiendo de la forma. Las posibles reacciones de hidratación para el aluminio son:

10



15 Otra reacción de hidratación utiliza la hidrólisis de calcio. La reacción de hidratación para el calcio es:



20 Donde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es conocido como portlandita y es un producto común de hidrólisis del cemento Portland. El hidróxido de magnesio y el hidróxido de calcio se consideran relativamente insolubles en agua. El hidróxido de aluminio puede considerarse un hidróxido anfótero, que tiene solubilidad en ácidos fuertes o en bases fuertes. Los metales alcalinotérreos (por ejemplo, Mg, Ca, etc.) funcionan bien para el metal expandible, pero los metales de transición (Al, etc.) también funcionan bien para el metal expandible. En una modalidad, el hidróxido de metal se deshidrata mediante la presión de expansión para formar un óxido de metal.

En una modalidad, el metal expandible utilizado puede ser una aleación metálica. La aleación de metal expandible puede ser una aleación del metal base expandible con otros elementos con el fin de ajustar tanto la resistencia de la aleación de metal expandible, como el tiempo de reacción de la aleación de metal expandible, o la resistencia del subproducto de hidróxido de metal resultante, entre otros ajustes. La aleación de metal expandible puede ser aleada con elementos que mejoren la resistencia del metal, tales como, pero no limitados a, Al - Aluminio, Zn - Zinc, Mn - Manganeso, Zr - Zirconio, Y - Yttrio, Nd - Neodimio, Gd - Gadolinio, Ag - Plata, Ca - Calcio, Sn - Estaño y Re - Renio, Cu - Cobre. En algunas modalidades, la aleación de metal expandible puede estar aleada

con un dopante que promueva la corrosión, como Ni - Níquel, Fe - Hierro, Cu - Cobre, Co - Cobalto, Ir - Iridio, Au - Oro, C - Carbono, Ga - Galio, In - Indio, Mg - Mercurio, Bi - Bismuto, Sn - Estaño y Pd - Paladio. La aleación de metal expandible puede ser construida en un proceso de solución sólida donde los elementos se combinan con metal fundido o aleación de metal. Alternativamente, la aleación de metal expandible podría ser construida con un proceso de metalurgia en polvo. El metal expandible puede ser fundido, forjado, extruido, sinterizado, soldado, mecanizado en fresadora, mecanizado en torno, estampado, erosionado o una combinación de estos. La aleación de metal puede ser una mezcla del metal y el óxido de metal. Por ejemplo, una mezcla en polvo de aluminio y óxido de aluminio puede ser molido en un molino de bolas juntos para aumentar la velocidad de reacción.

Opcionalmente, se pueden agregar componentes no expansibles a los materiales metálicos iniciales. Por ejemplo, componentes de cerámica, elastómero, plástico, epoxi, vidrio o metal no reactivo pueden estar incrustados en el metal expandible o recubiertos en la superficie del metal expandible. En otras modalidades, los componentes no expansibles son fibras metálicas, una trama compuesta, una cinta de polímero o gránulos cerámicos, entre otros. Alternativamente, el metal expandible inicial puede ser el óxido de metal. Por ejemplo, el óxido de calcio (CaO) con agua producirá hidróxido de calcio en una reacción energética. Debido a la mayor densidad del óxido de calcio, esto puede tener una expansión volumétrica del 260 % (por ejemplo, convertir 1 mol de CaO puede hacer que el volumen aumente de 9,5 cc a 34,4 cc). En una variación, el metal expandible se forma en una reacción serpentinita, una reacción de hidratación y metamórfica. En una variación, el material resultante se asemeja a un material máfico. Se pueden agregar iones adicionales a la reacción, incluyendo silicato, sulfato, aluminato, carbonato y fosfato. El metal puede ser aleado para aumentar la reactividad o controlar la formación de óxidos.

El metal expandible se puede configurar de muchas formas diferentes, siempre y cuando haya un volumen adecuado de material disponible para expandirse completamente. Por ejemplo, el metal expandible puede ser formado en un único miembro largo, múltiples miembros cortos, anillos, entre otros. En otra modalidad, el metal expandible puede formarse en un largo alambre de metal expandible, que a su vez puede enrollarse alrededor de una característica de fondo de pozo, como un tubular. Los diámetros de los alambres no necesitan ser de sección circular, sino que pueden ser de cualquier sección transversal. Por ejemplo, la sección transversal del alambre podría ser ovalada, rectangular, en forma de estrella, hexagonal, de quilla, trenzada hueca, tejida, retorcida,

entre otras, y permanecer dentro del alcance de la descripción. En ciertas otras modalidades, el metal expandible es una colección de trozos individuales separados del metal que se mantienen juntos con un agente de unión. En otros modos de realización, el metal expandible es una colección de trozos individuales separados del metal que no están unidos con un agente aglutinante. Además, se puede aplicar un recubrimiento retardante a una o más partes del metal expandible para retrasar las reacciones de expansión.

En al menos otra modalidad, pueden existir vacíos entre las partes adyacentes del metal expandible. En al menos una modalidad, los vacíos pueden estar al menos parcialmente llenos con un material configurado para retrasar el proceso de hidrólisis. En una modalidad, el material configurado para retrasar el proceso de hidrólisis es una aleación fusible. En otra modalidad, el material configurado para retrasar el proceso de hidrólisis es un material eutéctico. En otra modalidad, el material configurado para retrasar el proceso de hidrólisis es una cera, aceite u otro material no reactivo. Alternativamente, los vacíos pueden estar al menos parcialmente llenos con un material configurado para acelerar el proceso de hidrólisis. En una modalidad, el material configurado para acelerar el proceso de hidrólisis es un polvo reactivo, como la sal.

Volviendo ahora a las Figuras 2A a 2C se ilustran diferentes estados de despliegue para una herramienta de fondo de pozo 200 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con un aspecto de la descripción. La Figura 2A ilustra la herramienta de fondo de pozo 200 antes de la expansión, la Figura 2B ilustra la herramienta de fondo de pozo 200 después de la expansión, y la Figura 2C ilustra la herramienta de fondo de pozo 200 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. Como se describe anteriormente, el metal expandible de la Figura 2A puede ser sometido a un fluido reactivo adecuado dentro de un pozo, formando así el metal expandido mostrado en las Figuras 2B y 2C.

La herramienta de fondo de pozo 200, en la modalidad ilustrada de las Figuras 2A a 2C, incluye un tubular 210. El tubular 210 puede comprender cualquier superficie que exista dentro de un pozo mientras se mantenga dentro del alcance de la descripción. El tubular 210, en la modalidad ilustrada, está centrado alrededor de una línea central (C_L). La herramienta de fondo de pozo 200, al menos en la modalidad de las Figuras 2A a 2C, adicionalmente incluye una superficie 220 posicionada alrededor del tubular 210. En al menos una modalidad, la superficie 220 es tubular, como por ejemplo una tubería de revestimiento, una tubería de producción, etc. En otra modalidad, la superficie 220 es el

propio pozo, por ejemplo, si se está utilizando un pozo sin abrir. De acuerdo con un aspecto de la descripción, el tubular 210 y la superficie 220 forman un primer espacio 230 entre ellos. En al menos una modalidad, el primer espacio 230 es un anillo entre el tubular 210 y la superficie 220, el anillo se extiende alrededor de la línea central (C_L). En otras modalidades, el primer espacio 230 no se extiende completamente alrededor de la línea central (C_L), y por lo tanto no forma un anillo.

La herramienta de fondo de pozo 200, al menos en la modalidad de las Figuras 2A a 2C, adicionalmente incluye un par de anillos de extremo 240 posicionados entre el tubular 210 y la superficie 220, y dentro del primer espacio 230. La herramienta de fondo de pozo 200, en una o más modalidades, también incluye un manguito 250 que abarca el par de anillos de extremo 240. Como se evidencia en la modalidad de las Figuras 2A a 2C, el par de anillos de extremo 240 y el manguito 250 definen un segundo espacio 260. En una o más modalidades, el manguito 250 es un manguito sólido. En otra modalidad no mostrada, el manguito 250 incluye una o más aberturas en su interior para permitir que el fluido reactivo entre en el segundo espacio 260. En otra modalidad, el manguito 250 es una pantalla o malla de alambre.

En al menos una modalidad, el par de anillos de extremo 240 y/o el manguito 250 pueden estar compuestos de metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis. En la modalidad ilustrada de las Figuras 2A a 2C, el par de anillos de extremo 240 comprende un metal no expandible, pero el manguito 250 comprende un metal expandible. Otros modos de realización, sin embargo, existen en los cuales el manguito 250 comprende un metal no expandible y el par de placas extremas 240 comprenden un metal expandible. Existen otros modos de realización en los que ni el par de anillos de extremo 240 ni el manguito 250 comprenden un metal expandible, o existen otros modos de realización en los que tanto el par de anillos de extremo 240 como el manguito 250 comprenden un metal expandible.

Con referencia a la Figura 2A, uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 pueden ser colocados alrededor del tubular 210, el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis. El uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 pueden comprender cualquiera de los metales expandibles discutidos anteriormente. Además de la modalidad de la Figura 2A, uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 pueden tener una relación de área superficial a volumen ($SA:V$) de al menos 2 cm^{-1} . En otra modalidad, el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 pueden

tener una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 5 cm^{-1} . En otra modalidad, el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 pueden tener una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 100 cm^{-1} , y en otras modalidades una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 5 cm^{-1} a 50 cm^{-1} , o alternativamente una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 10 cm^{-1} a 20 cm^{-1} . La relación de área superficial a volumen específica (SA:V) de uno o más elementos de sellado de metal expandibles 270 puede ser elegida en función del tiempo de reacción deseado para los elementos de sellado de metal expandibles 270. Como se discutió anteriormente, cuanto mayor sea la relación de área superficial a volumen (SA:V) (por ejemplo, para un material dado), más rápida será la velocidad de reacción (por ejemplo, para ese mismo material).

En la modalidad de la Figura En la Figura 2A, uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 son uno o más alambres de metal expandible envueltos (por ejemplo, envueltos helicoidalmente) alrededor del tubular 210. En la modalidad ilustrada, uno o más alambres de metal expandible se posicionan dentro del segundo espacio 260 entre el par de anillos de extremo 240 y el manguito 250. En la modalidad de la Figura En la Figura 2A, un solo alambre de metal expandible se envuelve varias veces alrededor del tubular 210, así como hacia atrás y encima de sí mismo. Así, en la modalidad de la Figura existen 2A, tres capas del alambre único de metal expandible alrededor del tubular 210. Otras configuraciones, sin embargo, están dentro del alcance de la descripción. Además, mientras el alambre de metal expandible ilustrado en la Figura 2A incluye una sección transversal circular, existen otras modalidades en las que la sección transversal del alambre podría ser ovalada, rectangular, estrella, hexagonal, clave, trenzada hueca, tejida, retorcida, entre otras, y se mantienen dentro del alcance de la descripción. Además, uno o más alambres de metal expandible pueden ser tratados térmicamente para reducir el rebote. En al menos una modalidad, el o los elementos de sellado de metal expandible 270 se ajustan a presión sobre el tubular 210 para evitar espacios vacíos. En otras modalidades, se dejan o se crean intencionalmente huecos.

Con referencia a la Figura. En la Figura 2B se muestra la herramienta de fondo de pozo 200. 2A después de someter el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 a un fluido reactivo, formando así uno o más elementos de sellado de metal expandido 280, como se discutió anteriormente. En la modalidad ilustrada, el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 se convierten en un único elemento de sellado de metal expandido 280 cuando se ha reaccionado sustancialmente. Sin embargo, existen otras modalidades en las que uno o más elementos de sellado de metal expandible 270

se convierten en múltiples elementos de sellado de metal expandido 280 cuando se han reaccionado sustancialmente. Nuevamente, uno o más elementos de sellado de metal expandible 280 pueden funcionar como un sello, un anclaje o tanto como un sello como un anclaje y permanecer dentro del alcance de la descripción.

5

En ciertas modalidades, el período de tiempo para la hidratación de uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 es diferente al período de tiempo para la hidratación de uno o ambos del par de anillos de extremo 240 y/o el manguito 250. Por ejemplo, la mayor relación de área superficial a volumen (SA:V) de uno o más elementos de sellado de metal expandible 270, en comparación con la menor relación de área superficial a volumen (SA:V) del par de anillos de extremo 240 y/o manguito 250, puede hacer que el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 se expandan más rápido en respuesta a la hidrólisis que el par de anillos de extremo 240 y/o manguito 250. Además, o alternativamente, el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 podrían estar compuestos de un material de metal expandible que reacciona más rápido que el material de metal expandible del par de anillos de extremo 240 y/o del manguito 250.

Con referencia a la Figura En la Figura 2C se muestra la herramienta de fondo de pozo 200 ilustrada en la Figura 2A después de someter el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 a un fluido reactivo para formar uno o más elementos de sellado de metal expandido que incluyen metal expandible residual sin reaccionar en su interior 290, como se discutió anteriormente. En una modalidad, el uno o más elementos de sellado de metal expandible incluyen metal expandible residual sin reaccionar en su interior 290, y contienen al menos un 1 % de metal expandible residual sin reaccionar en su interior. En otra modalidad, el uno o más elementos de sellado de metal expandible incluyen metal expandible residual sin reaccionar en su interior 290, y en particular incluyen al menos un 3 % de metal expandible residual sin reaccionar en su interior. En otro modo de realización, el uno o más elementos de sellado de metal expandible incluyen metal expandible residual sin reaccionar en su interior 290, y en ciertos modos de realización al menos un 10 % de metal expandible residual sin reaccionar en su interior, y en ciertos modos de realización al menos un 20 % de metal expandible residual sin reaccionar en su interior.

Volviendo ahora a las Figuras 3A a 3C se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 300 diseñada, fabricada, y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 3A ilustra la herramienta de fondo de pozo 300 antes de la expansión, la Figura 3B ilustra la herramienta de fondo de

pozo 300 después de la expansión, y la Figura 3C ilustra la herramienta de fondo de pozo 300 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 300 de las Figuras 3A a 3C es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 300 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 300 no utiliza el manguito 250.

Volviendo ahora a las Figuras 4A a 4C se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 400 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 4A ilustra la herramienta de fondo de pozo 400 antes de la expansión, la Figura 4B ilustra la herramienta de fondo de pozo 400 después de la expansión, y la Figura 4C ilustra la herramienta de fondo de pozo 400 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 400 de las Figuras 4A a 4C es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 400 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 400 no utiliza el par de anillos de extremo 240 ni el manguito 250. Así, de acuerdo con esta modalidad, el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 se colocan individualmente dentro del primer espacio 230.

Volviendo ahora a las Figuras 5A a 5C se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 500 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 5A ilustra la herramienta de fondo de pozo 500 antes de la expansión, la Figura 5B ilustra la herramienta de fondo de pozo 500 después de la expansión, y la Figura 5C ilustra la herramienta de fondo de pozo 500 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 500 de las Figuras 5A a 5C es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 500 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 500 utiliza una sección transversal no circular para uno o más elementos de sellado de metal expandible 570. Específicamente, en la modalidad de las Figuras 5A a 5C, el

uno o más elementos de sellado de metal expandible 570 tienen una sección transversal en forma de estrella, entre otras formas posibles.

Volviendo ahora a las Figuras 6A a 6C se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 600 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 6A ilustra la herramienta de fondo de pozo 600 antes de la expansión, la Figura 6B ilustra la herramienta de fondo de pozo 600 después de la expansión, y la Figura 6C ilustra la herramienta de fondo de pozo 600 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 600 de las Figuras 6A a 6C es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 600 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 600 utiliza una colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 posicionados alrededor del tubular 210. En una modalidad, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} . En otra modalidad, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 5 cm^{-1} . En otra modalidad, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) inferior a 100 cm^{-1} , o alternativamente una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 5 cm^{-1} a 50 cm^{-1} .

En ciertas modalidades, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 es una colección de trozos individuales separados de metal expandible de diferentes tamaños. Por ejemplo, en ciertas modalidades, un primer volumen de los más grandes de la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 es al menos 5 veces el segundo volumen de los más pequeños de la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670. En otra modalidad, un primer volumen del más grande de la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 es al menos 50 veces mayor que un segundo volumen del más pequeño de la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670. Además, mientras la modalidad de la Figura 6A utiliza trozos de metal expandible 670 de diferentes tamaños, existen otras modalidades en las que cada uno de los trozos de metal expandible 670 son sustancialmente (por ejemplo, con un 10 %) iguales. Además, en ciertas modalidades, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 puede incluir dos o

más metales expandibles diferentes o un metal expandible y un óxido de metal. En una modalidad, los trozos de metal expandible 670 se comprimen juntos para formar una conglomeración de trozos ligeramente unidos.

- 5 En la modalidad de la Figura 6A, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 se posicionan dentro del segundo espacio 260 y se mantienen en su lugar con el manguito 250. En otra modalidad, los trozos individuales separados de metal expandible 670 se mantienen en su lugar con una pantalla o material de malla. En otras modalidades, uno o más de los pares de anillos de extremo 240 y/o el manguito 250 no
- 10 son necesarios. Por ejemplo, en ciertas modalidades, la colección de trozos individuales separados de metal expandible 670 se mantienen juntos con un agente de unión, que podría no requerir los pares de anillos de extremo 240 y/o el manguito 250. En al menos una modalidad, el agente de unión es sal, que también puede ser utilizado para acelerar la reacción de hidrólisis.

15

- Volviendo ahora a las Figuras 7A a 7C se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 700 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 7A ilustra la herramienta de fondo de pozo 700 antes de la expansión, la Figura 7B ilustra la herramienta de fondo de pozo 700 después de la expansión, y la Figura 7C ilustra la herramienta de fondo de pozo
- 20 700 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 700 de las Figuras 7A a 7C es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para
- 25 ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 700 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 700 utiliza una pluralidad de elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770.

- 30 En la modalidad de la Figura En la Figura 7A, cada uno de los múltiples elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770 son características separadas que pueden moverse entre sí. Además de la modalidad de la Figura En la Figura 7A, la pluralidad de elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770 están configurados de tal manera que existen espacios vacíos 780 entre las partes adyacentes
- 35 de la pluralidad de elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770. Además de la modalidad de la Figura 7A, un material 790 puede llenar al menos parcialmente los vacíos 780. En al menos una modalidad, el material 790 está

configurado para retrasar la hidrólisis, como con un aceite o una cera. En otra modalidad, el material 790 está configurado para acelerar la hidrólisis, como con una sal o un anhídrido ácido. Además, la pluralidad de elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770 pueden tener una textura superficial para facilitar el contacto con el fluido, incluyendo, sin limitación, crestas, hendiduras, rugosidad, etc. Además, ciertas modalidades pueden emplear uno o más anillos de polímero, como anillos elastoméricos, junto con los elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770. Los anillos de polímero pueden estar en los extremos de los elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770, o pueden estar intercalados dentro de los elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente 770.

Volviendo ahora a las Figuras 8A a 8E se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 800 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 8A ilustra la herramienta de fondo de pozo 800 antes de la expansión, la Figura 8B ilustra la herramienta de fondo de pozo 800 en una etapa inicial de expansión, la Figura 8C ilustra la herramienta de fondo de pozo 800 en una etapa intermedia de expansión, la Figura 8D ilustra la herramienta de fondo de pozo 800 después de la expansión, y la Figura 8E ilustra la herramienta de fondo de pozo 800 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 800 de las Figuras 8A a 8E es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 800 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 800 utiliza múltiples cables separados de metal expandible.

Por ejemplo, en la modalidad de la Figura En la Figura 8A, la herramienta de fondo de pozo 800 incluye un primer alambre de metal expandible 870a envuelto alrededor del tubular 210, un segundo alambre diferente de metal expandible 870b envuelto alrededor del primer alambre de metal expandible 870a, y un tercer alambre diferente de metal expandible 870c envuelto alrededor del segundo alambre de metal expandible 870b. Los primeros, segundos y terceros alambres de metal expandible 870a, 870b, 870c pueden estar compuestos por los mismos o diferentes materiales, y pueden tener las mismas o diferentes velocidades de reacción. Sin embargo, en la modalidad de las Figuras 8A a 8C, los primeros, segundos y terceros cables de metal expandible 870a, 870b, 870c tienen diferentes velocidades de reacción. Específico para la modalidad de las Figuras 8A a 8C, el primer alambre de metal expandible 870a tiene la velocidad de reacción más rápida, el segundo alambre de metal expandible 870b tiene la segunda velocidad de

reacción más rápida, y el tercer alambre de metal expandible 870c tiene la velocidad de reacción más lenta. Lo contrario podría ser cierto, sin embargo, y permanecer dentro del alcance de la descripción.

5 En al menos una modalidad, las tasas de reacción diferentes son una función de sus diferentes relaciones área superficial-volumen (SA:V). Así, en al menos una modalidad, el primer alambre 870a tiene la mayor relación de área superficial a volumen (SA:V), el segundo alambre diferente 870b tiene una segunda relación menor superficie-volumen (SA:V), y el tercer alambre diferente 870c tiene una tercera relación más baja superficie-
10 volumen (SA:V). Por ejemplo, en al menos una modalidad, el primer alambre 870a tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 10 cm^{-1} , el segundo alambre diferente 870b tiene una segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) menor entre 5 cm^{-1} y 10 cm^{-1} , y el tercer alambre diferente 870c tiene una tercera relación de área superficial a volumen (SA:V) más baja entre 2 cm^{-1} y 5 cm^{-1} .

15

En otra modalidad, las tasas de reacción diferentes son función de los materiales diferentes. Por ejemplo, se podría elegir un material para el primer cable 870a que tenga la velocidad de reacción más rápida, un material para el segundo cable 870b que tenga una velocidad de reacción intermedia, y un material para el tercer cable 870c que tenga la
20 velocidad de reacción más lenta. Sin embargo, lo contrario podría ser cierto. Como se muestra en las Figuras 8B a través de 8D, el elemento de sellado de metal expandible 880b, 880c, 880d se expande de manera incremental a medida que cada uno de los primeros, segundos y terceros alambres de metal expandible 870a, 870b, 870c se expanden en respuesta a la hidrólisis.

25

Volviendo ahora a las Figuras 9A a 9E se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 900 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 9A ilustra la herramienta de fondo de pozo 900 antes de la expansión, la Figura 9B ilustra la herramienta de fondo de pozo 900 en una etapa inicial de expansión, la Figura 9C ilustra la herramienta de fondo de pozo 900 en una etapa intermedia de expansión, la Figura 9D ilustra la herramienta de fondo de pozo 900 después de la expansión, y la Figura 9E ilustra la herramienta de fondo de pozo 900 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 900 de las Figuras 9A a 9E es
30 similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 800 de las Figuras 8A a 8E. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 900 difiere, en su

35

mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 800, en que la herramienta de fondo de pozo 900 utiliza primeros, segundos y terceros cables de metal expandible 970a, 970b, 970c que están apilados axialmente uno sobre otro. Además de la modalidad de las Figuras 9A a 9E, el primer alambre de metal expandible 970a tiene la velocidad de reacción más rápida, el segundo alambre de metal expandido 970b tiene la segunda velocidad de reacción más rápida, y el tercer alambre de metal expandible 970c tiene la velocidad de reacción más lenta. Tal como se muestra en las Figuras 9B a través de 9D con el elemento de sellado de metal expandible 980b, 980c, 980d expandiéndose de manera incremental a medida que cada uno de los primeros, segundos y terceros alambres de metal expandible 970a, 970b, 970c se expanden en respuesta a la hidrólisis. Sin embargo, lo contrario podría ser cierto.

Volviendo ahora a las Figuras 10A a 10E se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 1000 diseñada, fabricada, y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 10A ilustra la herramienta de fondo de pozo 1000 antes de la expansión, la Figura 10B ilustra la herramienta de fondo de pozo 1000 en una etapa inicial de expansión, la Figura 10C ilustra la herramienta de fondo de pozo 1000 en una etapa intermedia de expansión, la Figura 10D ilustra la herramienta de fondo de pozo 1000 después de la expansión, y la Figura 10E ilustra la herramienta de fondo de pozo 1000 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 1000 de las Figuras 10A a 10E es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 900 de las Figuras 9A a 9E. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 1000 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 900, en que el tercer alambre de metal expandible 1070c tiene la velocidad de reacción más rápida, el segundo alambre de metal expandido 1070b tiene la segunda velocidad de reacción más rápida, y el primer alambre de metal expandible 1070a tiene la velocidad de reacción más lenta. Tal como se muestra en las Figuras 10B a través de 10D con el elemento de sellado de metal expandible 1080b, 1080c, 1080d expandiéndose de manera incremental a medida que los terceros, segundos y primeros alambres de metal expandible 1070c, 1070b, 1070a se expanden en respuesta a la hidrólisis.

Volviendo ahora a las Figuras 11A a 11D se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 1100 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 11A ilustra la herramienta de fondo de pozo 1100 antes de la expansión, la Figura 11B ilustra la herramienta de fondo

de pozo 1100 en una etapa inicial de expansión, la Figura 11C ilustra la herramienta de fondo de pozo 1100 después de la expansión, y la Figura 11D ilustra la herramienta de fondo de pozo 1100 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 1100 de las Figuras 11A a 11D es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 1100 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 1100 incluye uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible 1170 colocados alrededor del tubular 210 próximo a uno o más primeros elementos de sellado de metal expandible 270. En al menos una modalidad, el uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible 1170 comprenden metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis, pero tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 1 cm^{-1} . En al menos otra modalidad, la relación de área superficial a volumen (SA:V) de la segunda superficie es menor a $0,1 \text{ cm}^{-1}$.

Volviendo ahora a las Figuras 12A a 12D se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 1200 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 12A ilustra la herramienta de fondo de pozo 1200 antes de la expansión, la Figura 12B ilustra la herramienta de fondo de pozo 1200 en una etapa inicial de expansión, la Figura 12C ilustra la herramienta de fondo de pozo 1200 después de la expansión, y la Figura 12D ilustra la herramienta de fondo de pozo 1200 después de la expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 1200 de las Figuras 12A a 12D es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 1100 de las Figuras 11A a 11D. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 1200 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 1100, en que la herramienta de fondo de pozo 1200 incluye uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible 1270 colocados alrededor de uno o más primeros elementos de sellado de metal expandible 270. En al menos una modalidad, el uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible 1270 comprenden metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis, pero tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 1 cm^{-1} . En al menos otra modalidad, la relación de área superficial a volumen (SA:V) de la segunda superficie es menor a $0,1 \text{ cm}^{-1}$.

Volviendo ahora a las Figuras 13A a 13D se muestran diferentes estados de fabricación para una herramienta de fondo de pozo 1300 diseñada, fabricada y operada de acuerdo con una modalidad alternativa de la descripción. La Figura 13A ilustra la herramienta de fondo de pozo 1300 antes de la expansión, la Figura 13B ilustra la herramienta de fondo de pozo 1300 con el metal expandible después de la expansión, la Figura 13C ilustra la herramienta de fondo de pozo 1300 con el metal expandible después de la expansión y el elastómero hinchable después de la expansión, y la Figura 13D ilustra la herramienta de fondo de pozo 1300 con el metal expandible post-expansión y el elastómero hinchable post-expansión y que contiene metal expandible residual sin reaccionar en su interior. La herramienta de fondo de pozo 1300 de las Figuras 13A a 13D es similar en muchos aspectos a la herramienta de fondo de pozo 200 de las Figuras 2A a 2C. En consecuencia, se han utilizado números de referencia similares, si no idénticos, para ilustrar características similares. La herramienta de fondo de pozo 1300 difiere, en su mayor parte, de la herramienta de fondo de pozo 200, en que la herramienta de fondo de pozo 1300 incluye uno o más elastómeros hinchables 1240 colocados alrededor del tubular 210. En la modalidad ilustrada, uno o más elastómeros hinchables 1240 se encuentran a ambos lados de uno o más elementos de sellado de metal expandible 270, pero podrían ubicarse en cualquier lugar. En la modalidad ilustrada, el uno o más elastómeros hinchables 1240 se hinchan más lentamente que el uno o más elementos de sellado de metal expandible 270 se expanden.

Aspectos descritos aquí incluyen:

A. Una herramienta de fondo de pozo, la herramienta de fondo de pozo que incluye: 1) un tubular; y 2) uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del tubular, el uno o más elementos de sellado de metal expandible comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} .

B. Un método para sellar dentro de un sistema de pozo, el método incluye: 1) posicionar una herramienta de fondo de pozo dentro de un pozo que se extiende hacia una formación subterránea, la herramienta de fondo de pozo incluye: a) un miembro tubular; y b) uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del miembro tubular, el uno o más elementos de sellado de metal expandible comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} ; y 2) sometiendo el uno o más elementos de sellado de metal expandible a un fluido reactivo para formar uno o más elementos de sellado de metal expandido.

C. Un sistema de pozo, el sistema de pozo que incluye: 1) un pozo que se extiende hacia una formación subterránea; 2) un transportador posicionado dentro del pozo; y 3) una herramienta de fondo de pozo acoplada al transportador, la herramienta de fondo de pozo que incluye: a) un miembro tubular; y b) uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del miembro tubular, el uno o más elementos de sellado de metal expandible que comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y que tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} .

D. Una herramienta de fondo de pozo, la herramienta de fondo de pozo que incluye: 1) un tubular; y 2) una colección de trozos individuales separados de metal expandible posicionados alrededor del tubular, la colección de trozos individuales separados de metal expandible que comprende un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis.

E. Un método para sellar dentro de un sistema de pozo, el método incluye: 1) posicionar una herramienta de fondo de pozo dentro de un pozo que se extiende hacia una formación subterránea, la herramienta de fondo de pozo incluye: a) un miembro tubular; y b) una colección de trozos individuales separados de metal expandible posicionados alrededor del miembro tubular, la colección de trozos individuales separados de metal expandible comprende un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis; y 2) someter la colección de trozos individuales separados de metal expandible a un fluido reactivo para formar uno o más sellos de metal expandido.

F. Un sistema de pozo, el sistema de pozo que incluye: 1) un pozo que se extiende hacia una formación subterránea; 2) un transportador posicionado dentro del pozo; y 3) una herramienta de fondo de pozo acoplada al transportador, la herramienta de fondo de pozo que incluye: a) un tubular; y b) una colección de trozos individuales separados de metal expandible posicionados alrededor del tubular, la colección de trozos individuales separados de metal expandible que comprende un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis.

Los aspectos A, B, C, D, E y F pueden tener uno o más de los siguientes elementos adicionales en combinación: Elemento 1: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 5 cm^{-1} . Elemento 2: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) inferior a 100 cm^{-1} . Elemento 3: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 5 cm^{-1} a 50 cm^{-1} . Elemento 4: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a

volumen (SA:V) que varía de 10 cm^{-1} a 20 cm^{-1} . Elemento 5: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible son uno o más alambres de metal expandible envueltos alrededor del tubular. Elemento 6: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible son un primer alambre de metal expandible envuelto alrededor del tubular y un segundo alambre de metal expandible diferente envuelto alrededor del primer alambre de metal expandible. Elemento 7: en donde el primer alambre tiene una primera velocidad de reacción, y el segundo alambre diferente tiene una segunda velocidad de reacción diferente. Elemento 8: en donde el primer alambre tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 10 cm^{-1} y el segundo alambre diferente tiene una segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) menor, la segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) menor hace que la segunda velocidad de reacción sea más lenta que la primera velocidad de reacción. Elemento 9: en donde el primer alambre comprende un primer metal expandible que tiene la primera velocidad de reacción y el segundo alambre diferente comprende un segundo metal expandible diferente que tiene una segunda velocidad de reacción menor. Elemento 10: además incluye un manguito que cubre uno o más elementos de sellado de metal expandible. Elemento 11: en donde el manguito es un manguito sólido. Elemento 12: en donde el manguito incluye aberturas en su interior para permitir que el fluido reactivo entre en contacto con uno o más elementos de sellado de metal expandible. Elemento 13: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible son una colección de trozos individuales separados de metal expandible mantenidos en su lugar por el manguito. Elemento 14: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible comprende dos o más metales expandibles diferentes. Elemento 15: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible comprende una pluralidad de trozos de metal expandible de diferentes tamaños. Elemento 16: en donde el manguito comprende un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis. Elemento 17: en donde uno o más elementos de sellado de metal expandible son una pluralidad de elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente. Elemento 18: en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible están configurados de tal manera que existen espacios vacíos entre las partes adyacentes del uno o más elementos de sellado de metal expandible. Elemento 19: además incluye llenar al menos parcialmente los vacíos con un material configurado para retrasar la hidrólisis. Elemento 20: además incluye llenar al menos parcialmente los vacíos con un material configurado para acelerar la hidrólisis. Elemento 21: en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible son uno o más primeros elementos de sellado de metal expandible, e incluyen además uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del tubular próximo al uno o más primeros elementos de sellado de metal expandible, el uno

o más segundos elementos de sellado de metal expandible comprenden el metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 1 cm^{-1} . Elemento 22: en donde la segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) es menor a $0,1 \text{ cm}^{-1}$. Elemento 23: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} . Elemento 24: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 5 cm^{-1} . Elemento 25: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 100 cm^{-1} . Elemento 26: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 5 cm^{-1} a 50 cm^{-1} . Elemento 27: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible es una colección de trozos individuales separados de metal expandible de diferentes tamaños. Elemento 28: en donde un primer volumen de la colección de trozos individuales separados más grandes del metal expandible es al menos 5 veces mayor que un segundo volumen de la colección de trozos individuales separados más pequeños del metal expandible. Elemento 29: en donde un primer volumen de la colección de trozos individuales separados más grandes del metal expandible es al menos 50 veces mayor que un segundo volumen de la colección de trozos individuales separados más pequeños del metal expandible. Elemento 30: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible se mantienen juntos con un agente de unión. Elemento 31: además incluye una superficie posicionada alrededor del tubular, el tubular y la superficie definen un espacio entre ellos, y además donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible se posiciona en el espacio. Elemento 32: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} . Elemento 33: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 100 cm^{-1} . Elemento 34: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible es una colección de trozos individuales separados de metal expandible de diferentes tamaños, en donde un primer volumen del trozo más grande de la colección de trozos individuales separados de metal expandible es al menos 5 veces mayor que un segundo volumen del trozo más pequeño de la colección de trozos individuales separados de metal expandible. Elemento 35: en donde un primer volumen de la colección de trozos individuales separados más grandes del metal expandible es al menos 50 veces mayor que un segundo volumen de la colección de trozos individuales separados más pequeños del metal expandible. Elemento 36:

además incluye una superficie posicionada alrededor del tubular, el tubular y la superficie definen un espacio entre ellos, y además donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible se posiciona en el espacio. Elemento 37: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de

5 área superficial a volumen (SA:V) de al menos 5 cm^{-1} . Elemento 38: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 100 cm^{-1} . Elemento 39: en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible es una colección de trozos individuales separados de metal expandible de diferentes tamaños, en donde un

10 primer volumen del trozo más grande de la colección de trozos individuales separados de metal expandible es al menos 50 veces mayor que un segundo volumen del trozo más pequeño de la colección de trozos individuales separados de metal expandible. Elemento 40: además incluye una superficie posicionada alrededor del tubular, el tubular y la superficie definen un espacio entre ellos, y además donde la colección de trozos

15 individuales separados de metal expandible se posiciona en el espacio.

Los expertos en la materia a la que se refiere esta solicitud apreciarán que se pueden realizar otras y más adiciones, eliminaciones, sustituciones y modificaciones a las modalidades descritas.

REIVINDICACIONES

1. Una herramienta de fondo de pozo, que comprende:

5 un tubular; y

uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del tubular, el uno o más elementos de sellado de metal expandible comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} .

10

2. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 5 cm^{-1} .

15

3. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) inferior a 100 cm^{-1} .

20

4. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 5 cm^{-1} a 50 cm^{-1} .

25

5. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) que varía de 10 cm^{-1} a 20 cm^{-1} .

30

6. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible son uno o más alambres de metal expandible envueltos alrededor del tubular.

35

7. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible son un primer alambre de metal expandible envuelto alrededor del tubular y un segundo alambre de metal expandible diferente envuelto alrededor del primer alambre de metal expandible.

8. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 7, en donde el primer alambre tiene una primera velocidad de reacción y el segundo alambre diferente tiene una segunda velocidad de reacción diferente.

9. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 8, en donde el primer alambre tiene una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 10 cm^{-1} y el segundo alambre diferente tiene una segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) menor, la segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) menor hace que la segunda velocidad de reacción sea más lenta que la primera velocidad de reacción.

10. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 8, en donde el primer alambre comprende un primer metal expandible que tiene la primera velocidad de reacción y el segundo alambre diferente comprende un segundo metal expandible diferente que tiene una segunda velocidad de reacción menor.

11. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, además incluye un manguito que cubre uno o más elementos de sellado de metal expandible.

12. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 11, en donde el manguito es un manguito sólido.

13. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 11, en donde el manguito incluye aberturas para permitir que el fluido reactivo entre en contacto con uno o más elementos de sellado de metal expandible.

14. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 11, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible son una colección de trozos individuales separados de metal expandible mantenidos en su lugar por el manguito.

15. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 14, en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible comprende dos o más metales expandibles diferentes.

16. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 14, en donde la colección de trozos individuales separados de metal expandible comprende una pluralidad de trozos de metal expandible de diferentes tamaños.

5 17. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 11, en donde el manguito comprende un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis.

10 18. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible son una pluralidad de elementos de sellado de metal expandible apilados axialmente.

15 19. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible están configurados de tal manera que existen vacíos entre las partes adyacentes del uno o más elementos de sellado de metal expandible.

20 20. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 19, además incluye llenar al menos parcialmente los vacíos con un material configurado para retrasar la hidrólisis.

21. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 19, además incluye llenar al menos parcialmente los vacíos con un material configurado para acelerar la hidrólisis.

25

22. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 1, en donde el uno o más elementos de sellado de metal expandible son uno o más primeros elementos de sellado de metal expandible, e incluye además uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del miembro tubular próximo al uno o más primeros elementos de sellado de metal expandible, el uno o más segundos elementos de sellado de metal expandible comprenden el metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de menos de 1 cm^{-1} .

35 23. La herramienta de fondo de pozo como se mencionó en la reivindicación 21, en donde la segunda relación de área superficial a volumen (SA:V) es menor a $0,1 \text{ cm}^{-1}$.

24. Un método para sellar dentro de un sistema de pozo, que comprende:

5 posicionar una herramienta de fondo de pozo dentro de un pozo que se extiende hacia una formación subterránea, la herramienta de fondo de pozo incluye:

un tubular; y

uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del tubular, el uno o más elementos de sellado de metal expandible que comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y

10 tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} ; y someter uno o más elementos de sellado de metal expandible a un fluido reactivo para formar uno o más elementos de sellado de metal expandido.

25. Un sistema de pozo, que comprende:

15 un pozo que se extiende hacia una formación subterránea;

un transportador posicionado dentro del pozo; y

una herramienta de fondo de pozo acoplada al transportador, la herramienta de fondo de pozo que incluye:

20 un tubular; y

uno o más elementos de sellado de metal expandible colocados alrededor del tubular, el uno o más elementos de sellado de metal expandible comprenden un metal configurado para expandirse en respuesta a la hidrólisis y tienen una relación de área superficial a volumen (SA:V) de al menos 2 cm^{-1} .

25

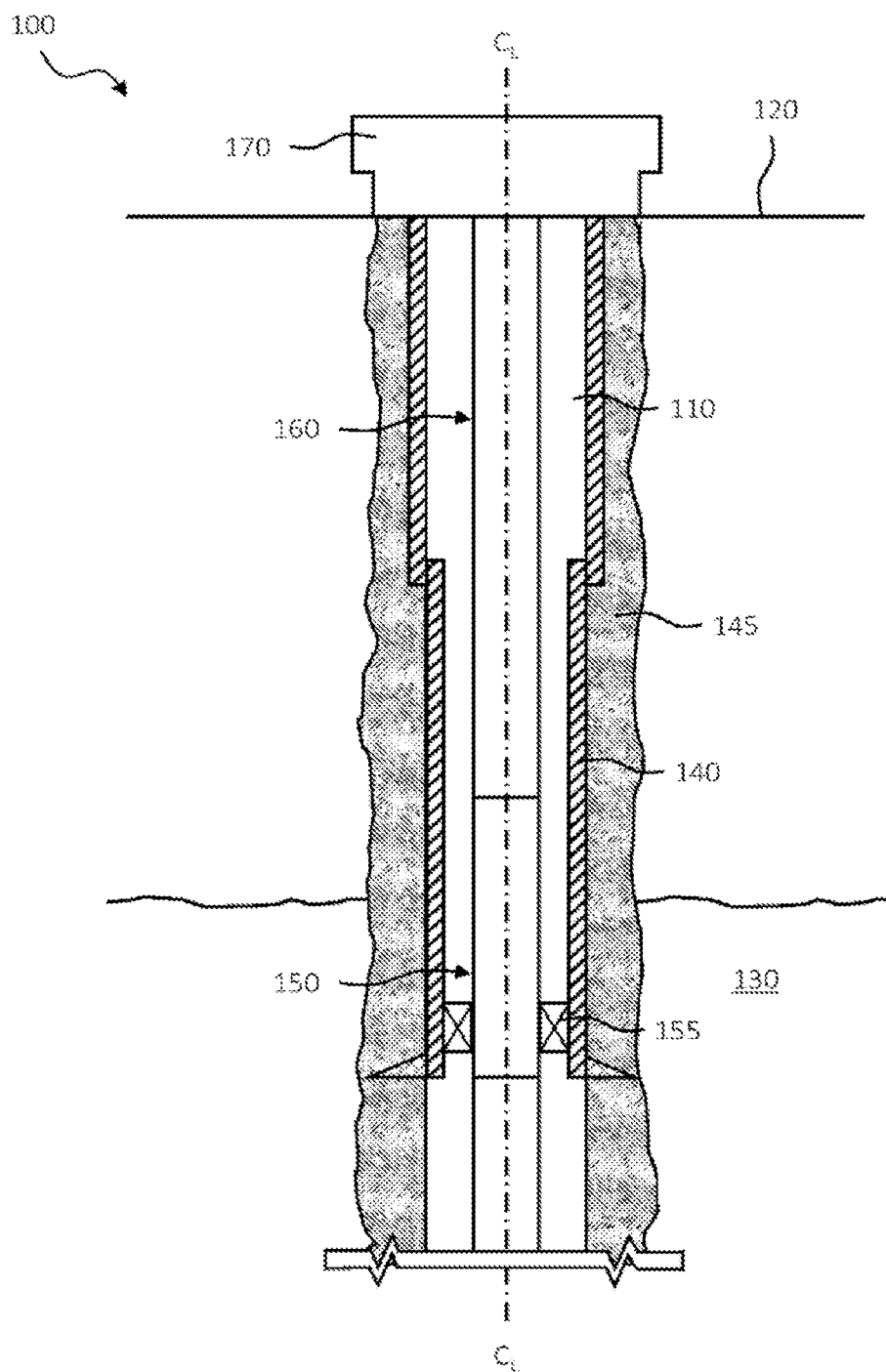


FIGURA 1

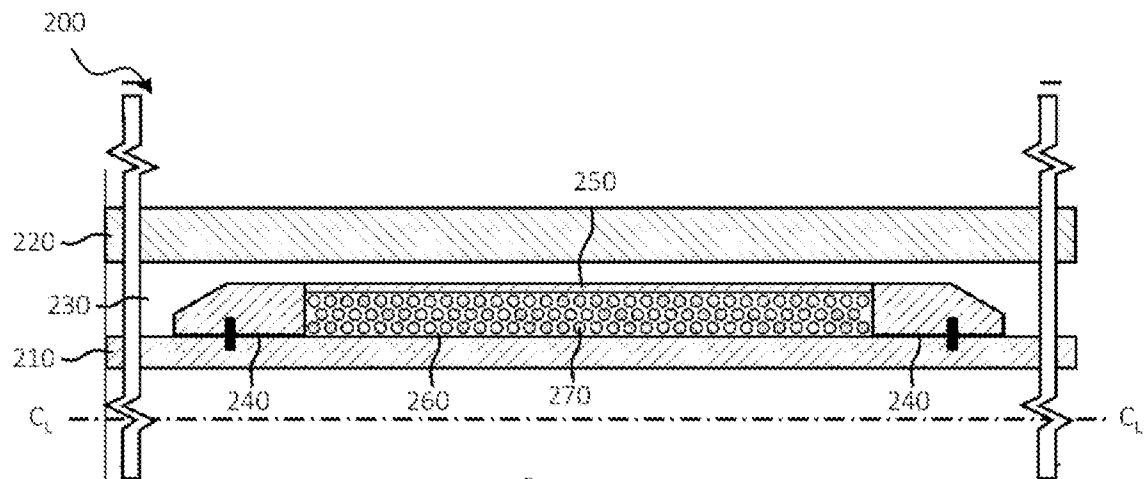


FIGURA 2A

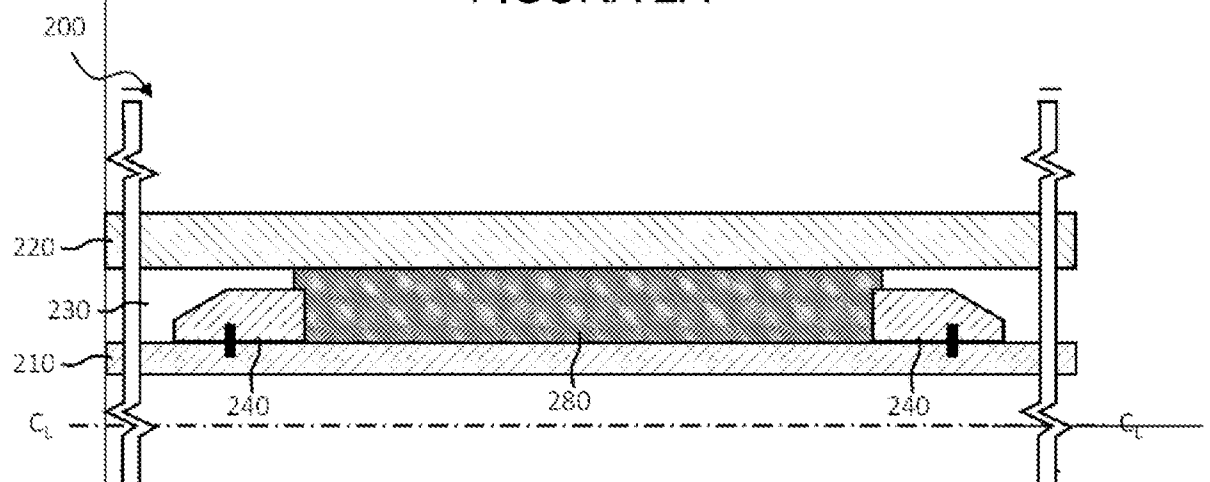


FIGURA 2B

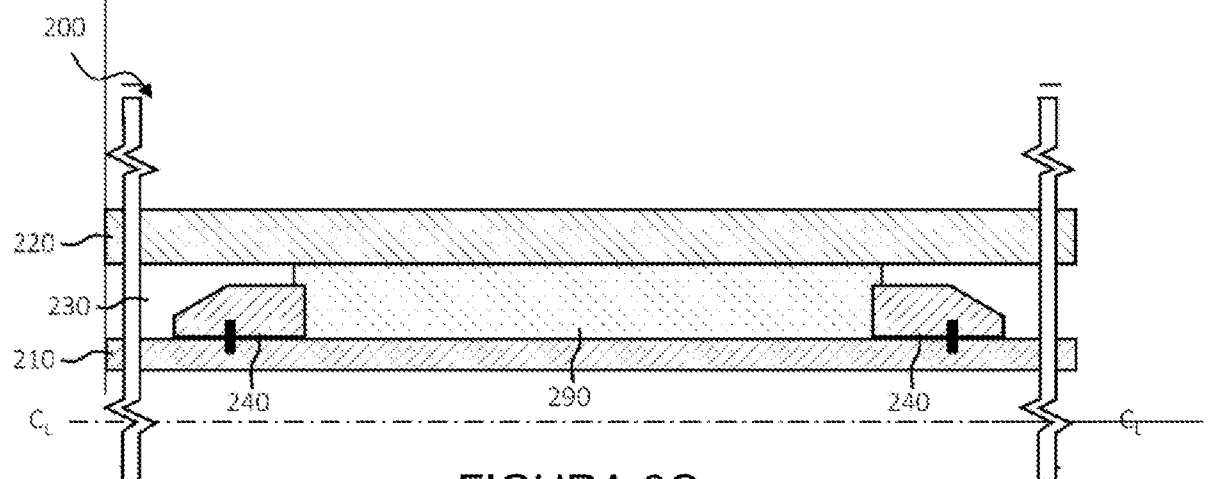


FIGURA 2C

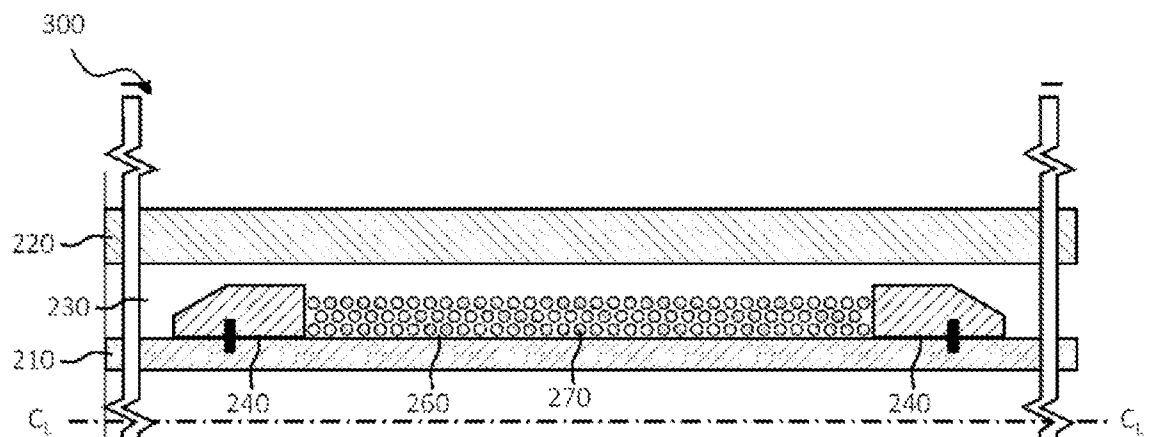


FIGURA 3A

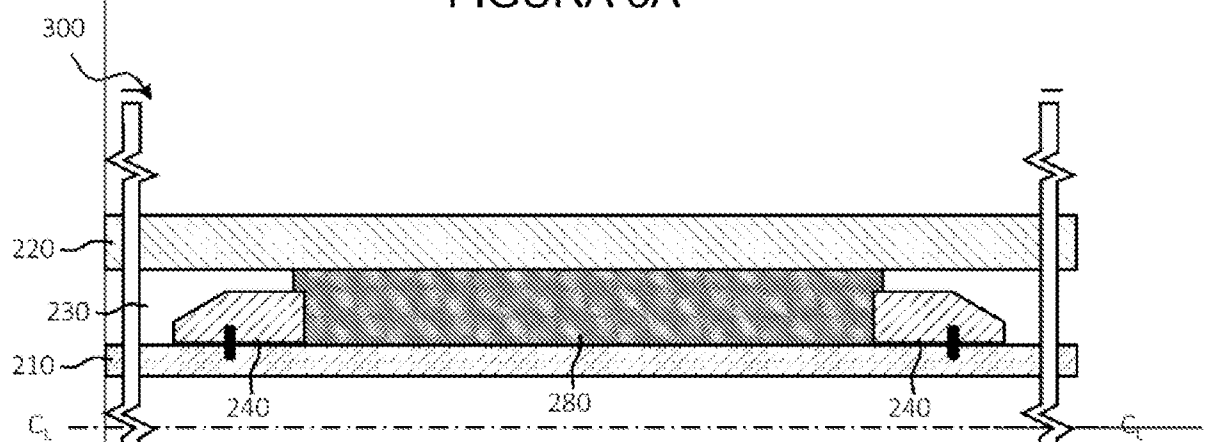


FIGURA 3B

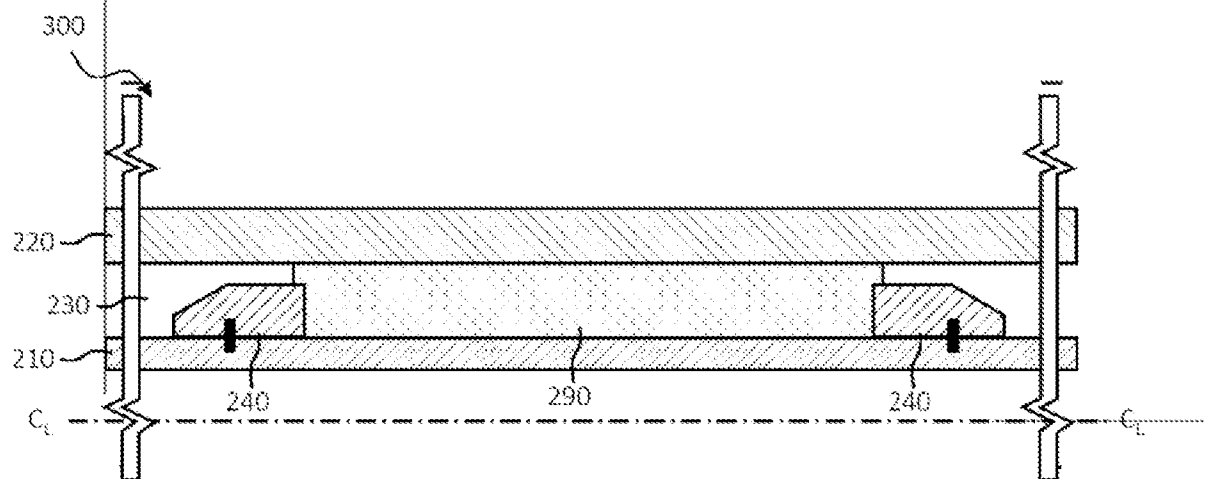
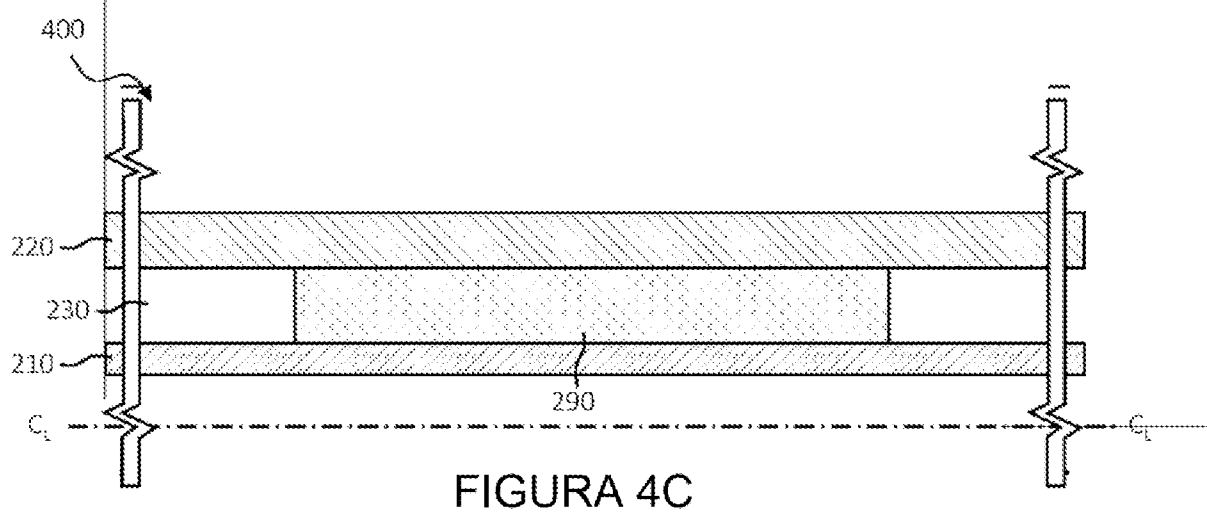
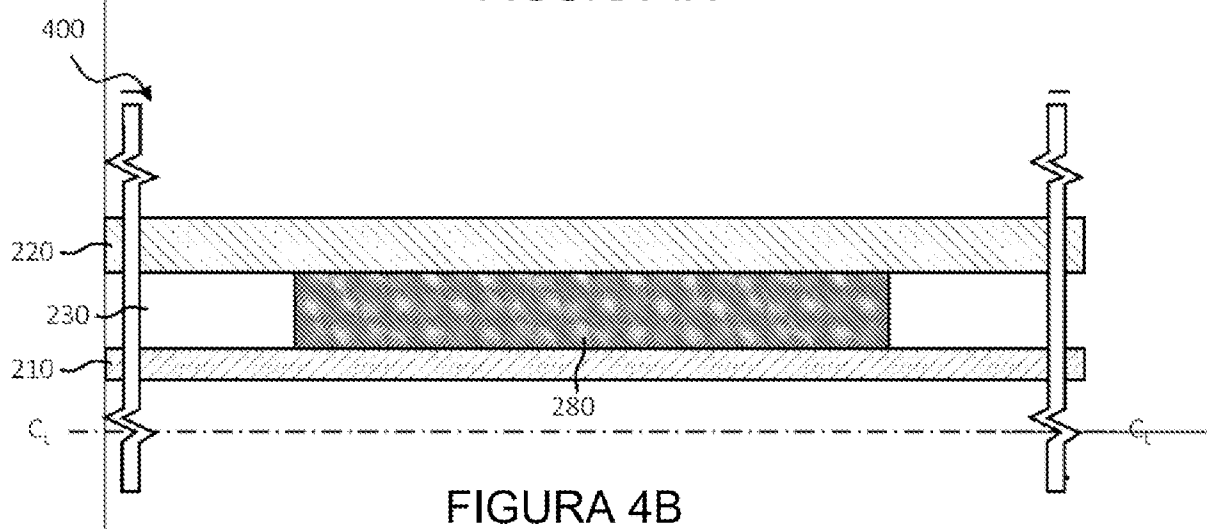
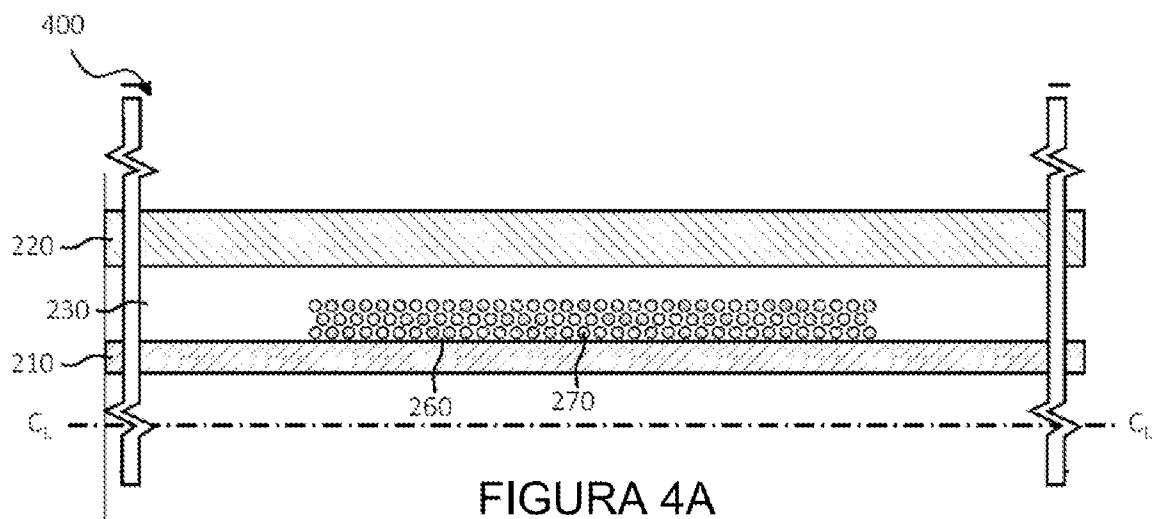


FIGURA 3C



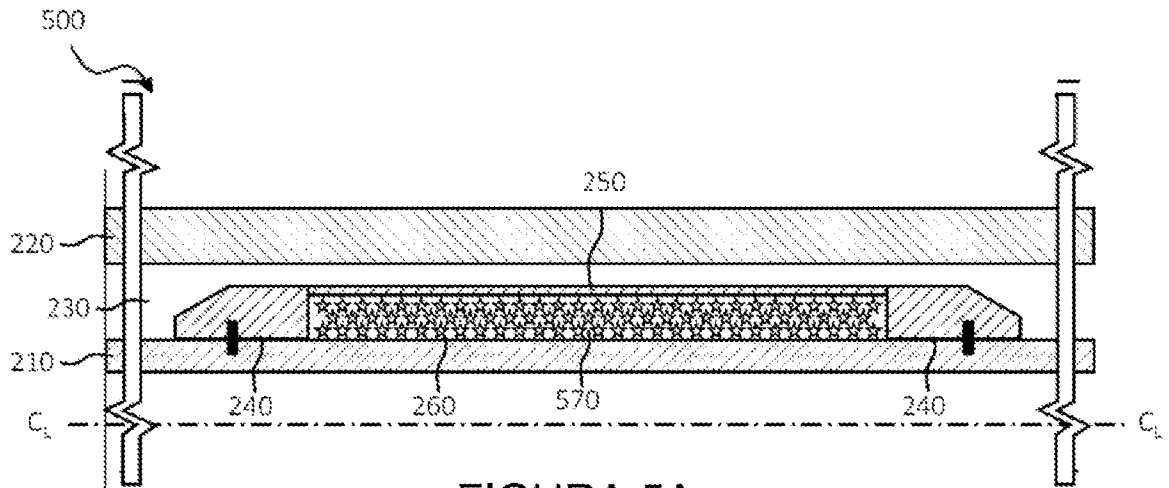


FIGURA 5A

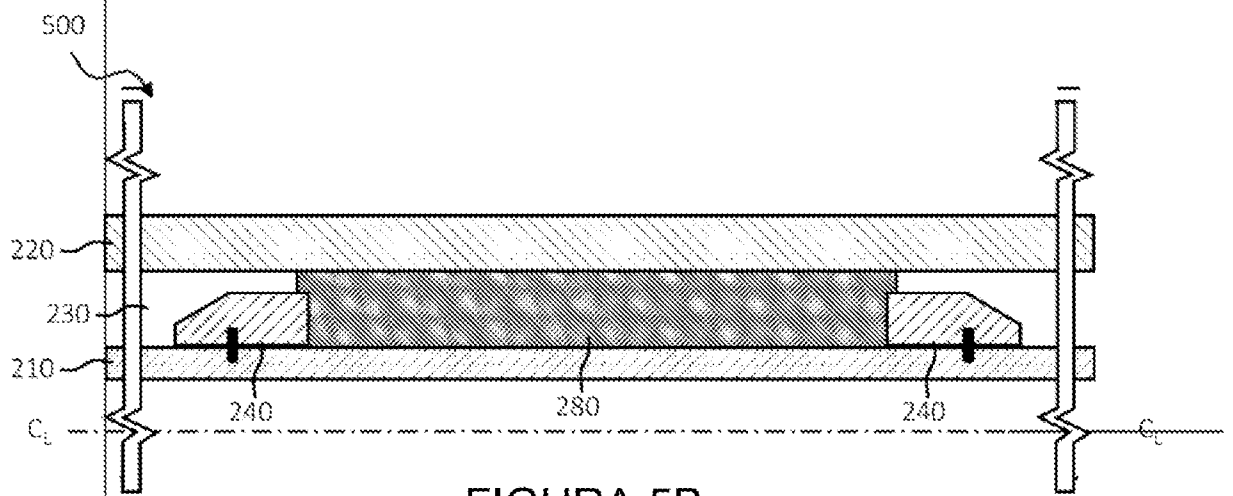


FIGURA 5B

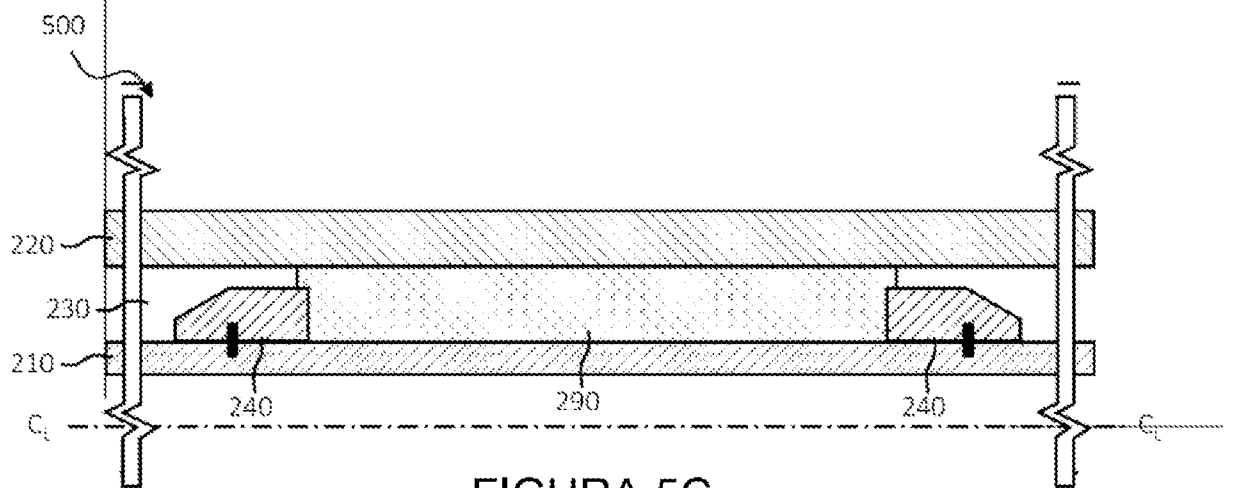


FIGURA 5C

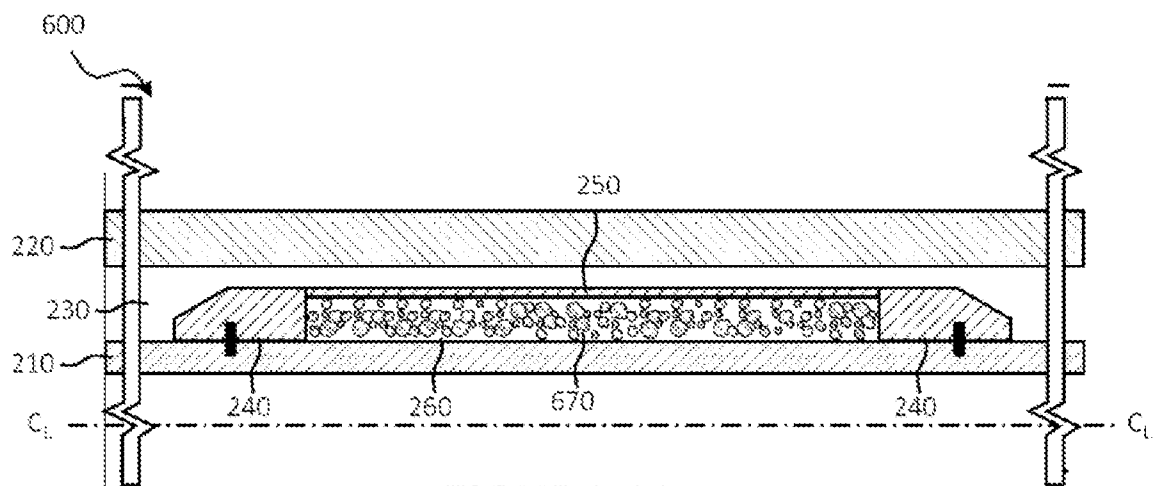


FIGURA 6A

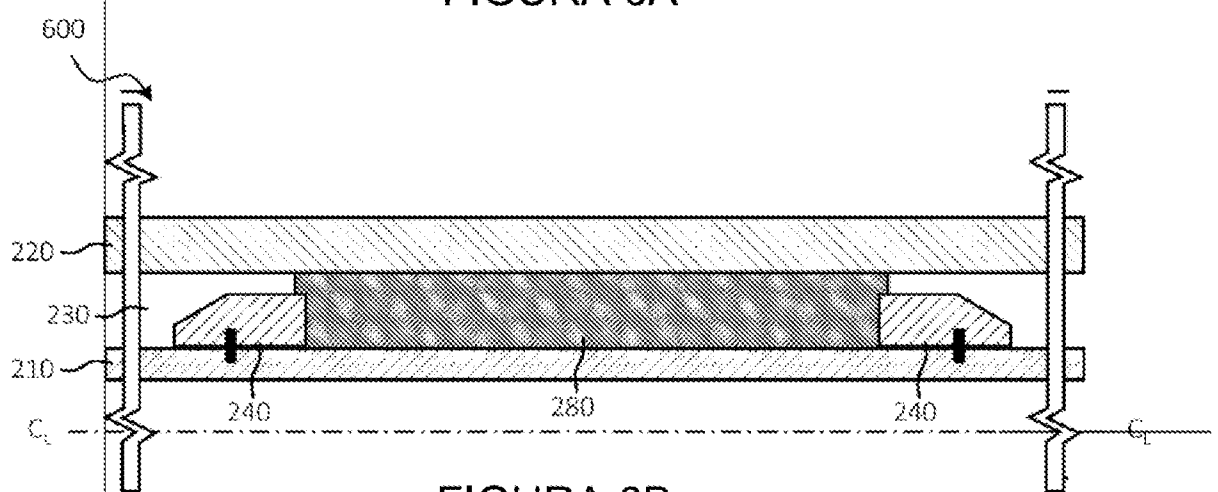


FIGURA 6B

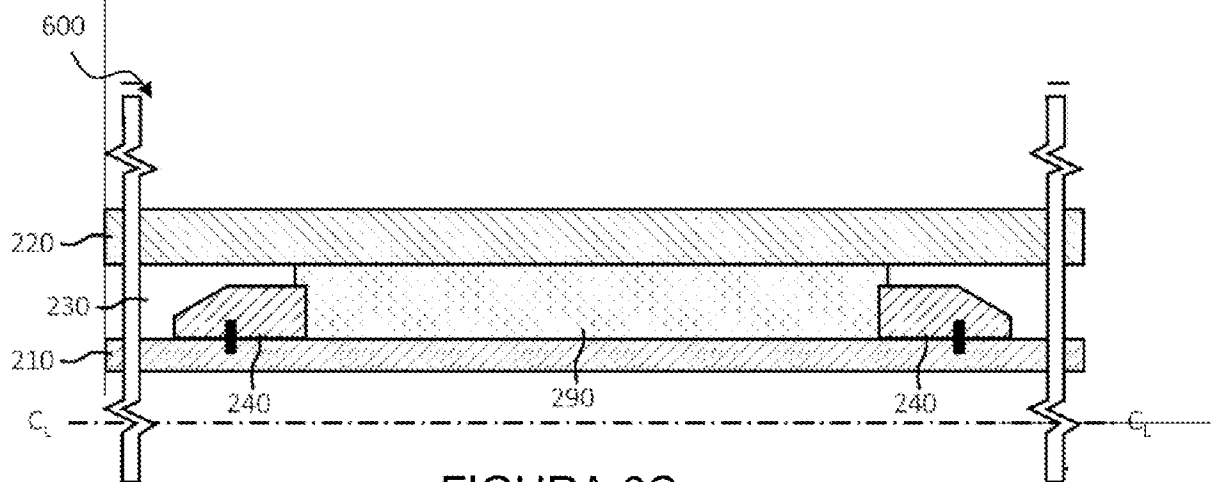
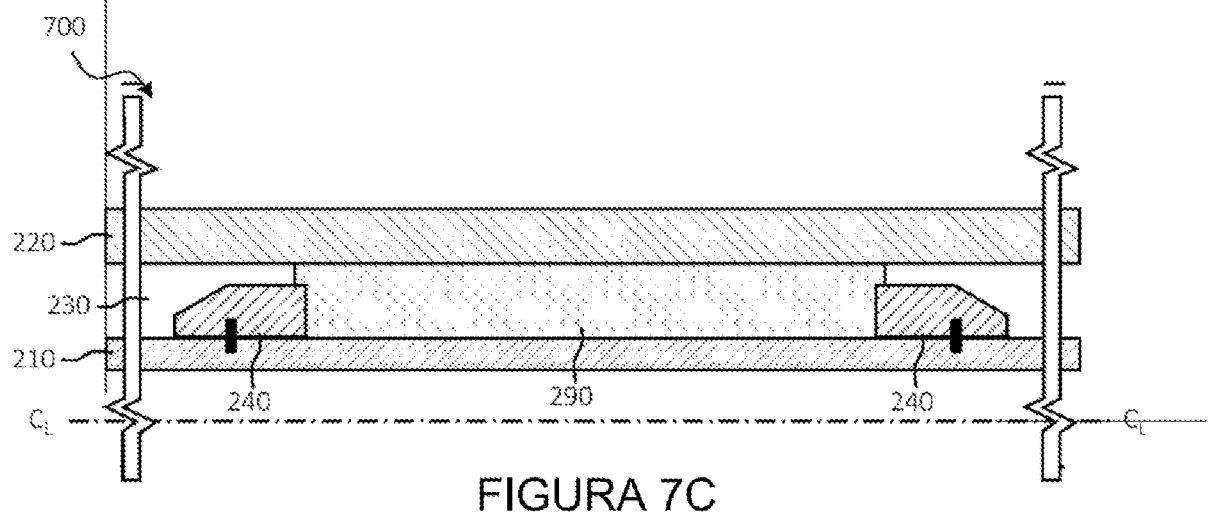
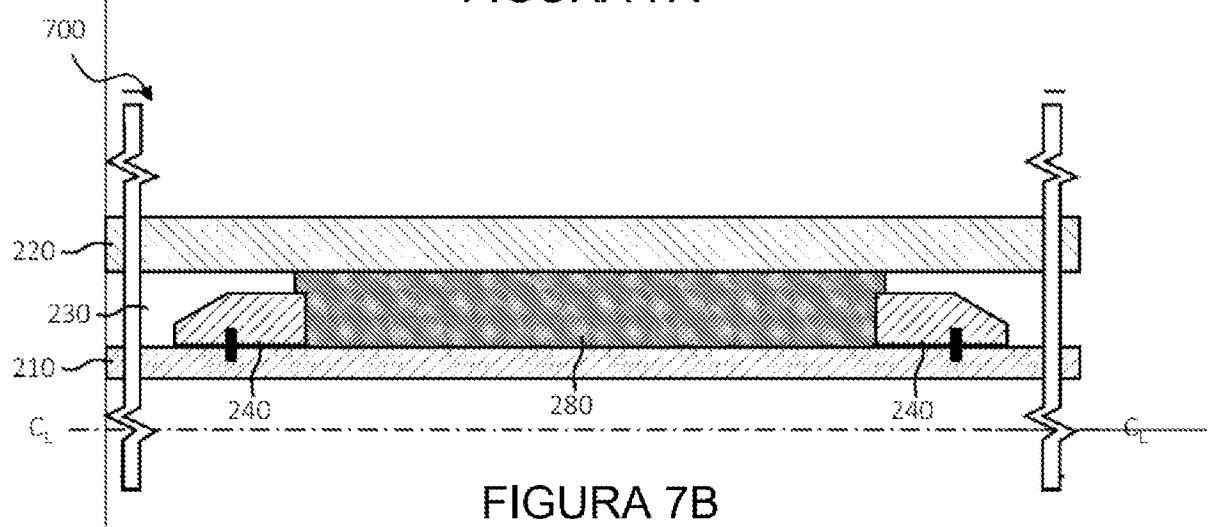
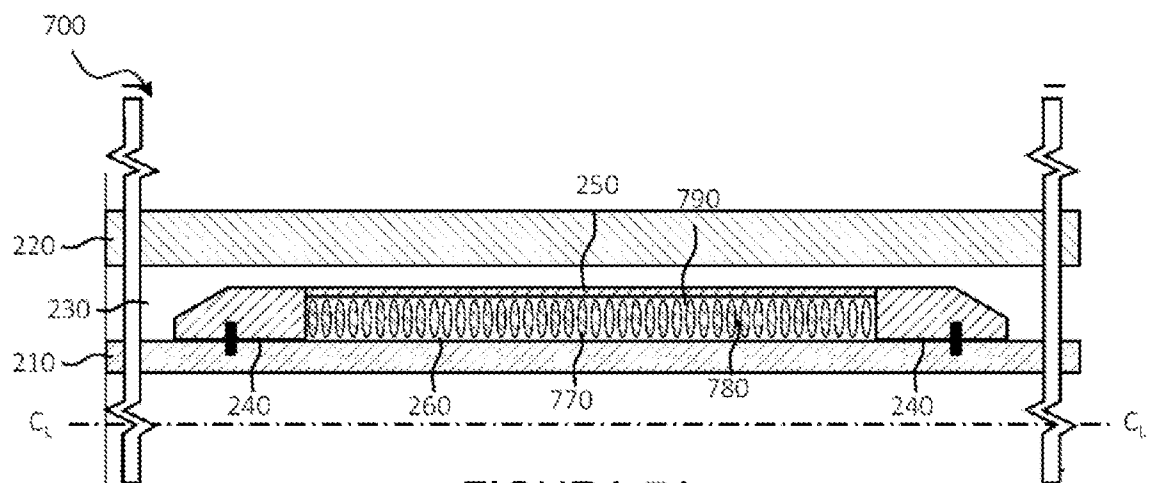


FIGURA 6C



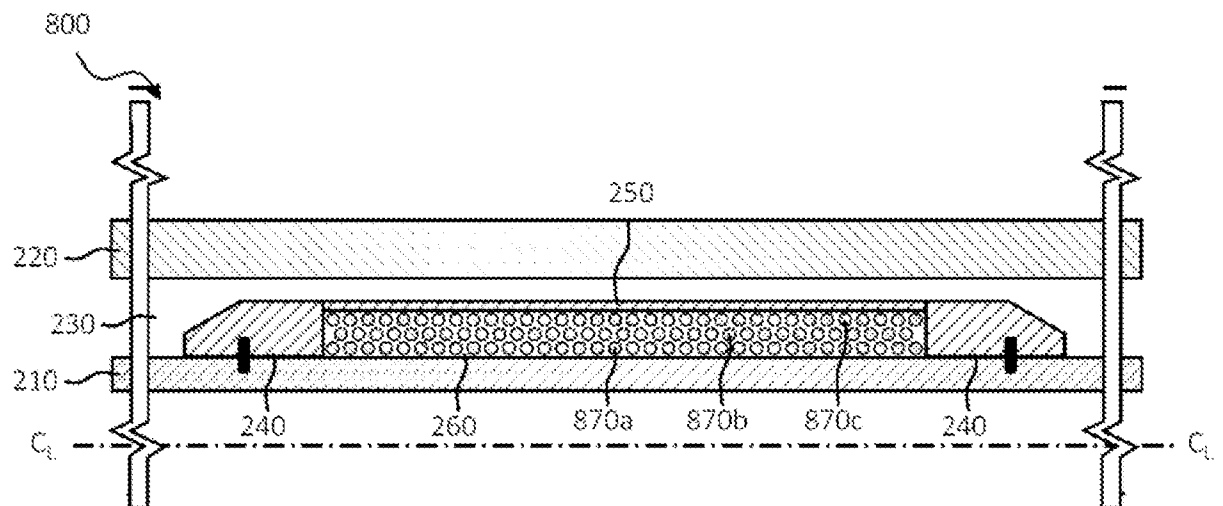


FIGURE 8A

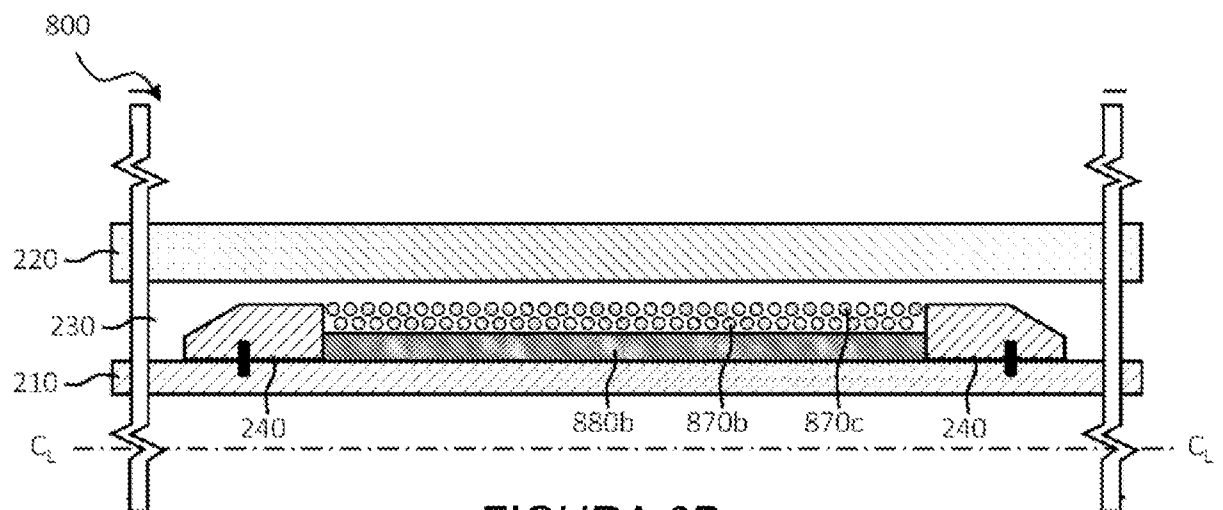


FIGURE 8B

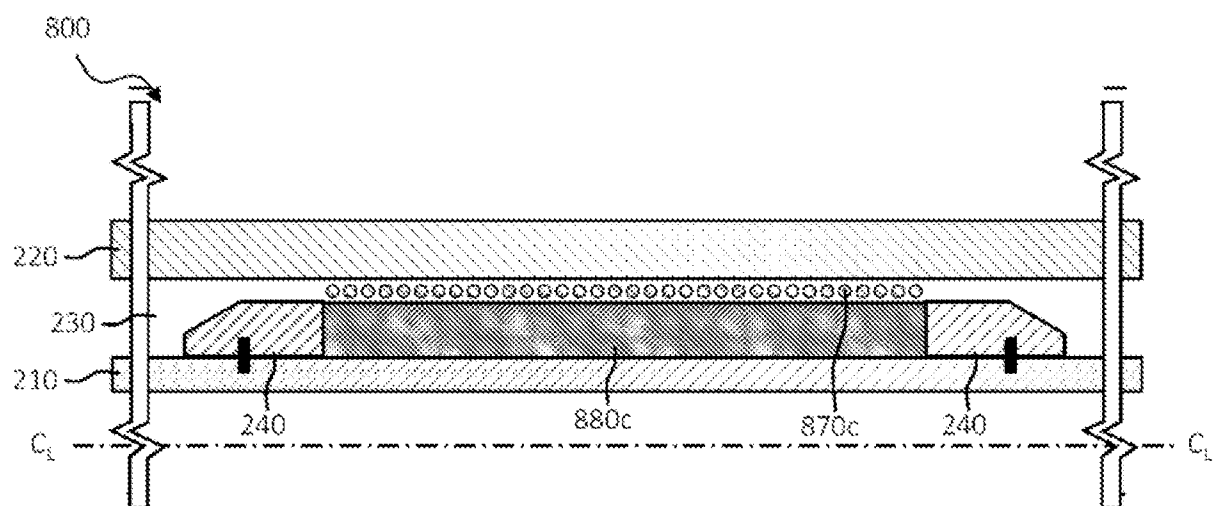


FIGURE 8C

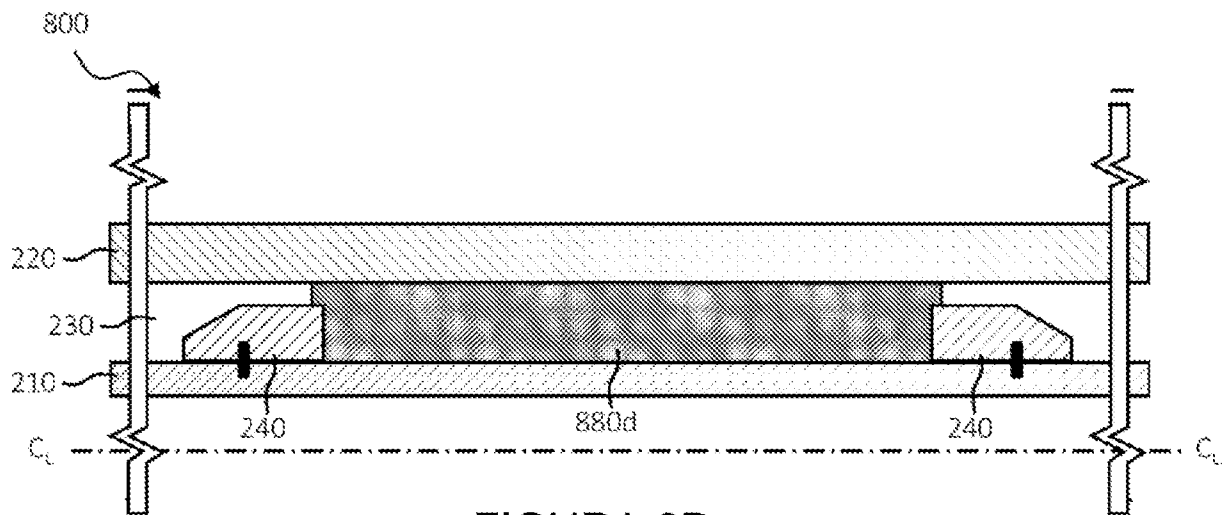


FIGURA 8D

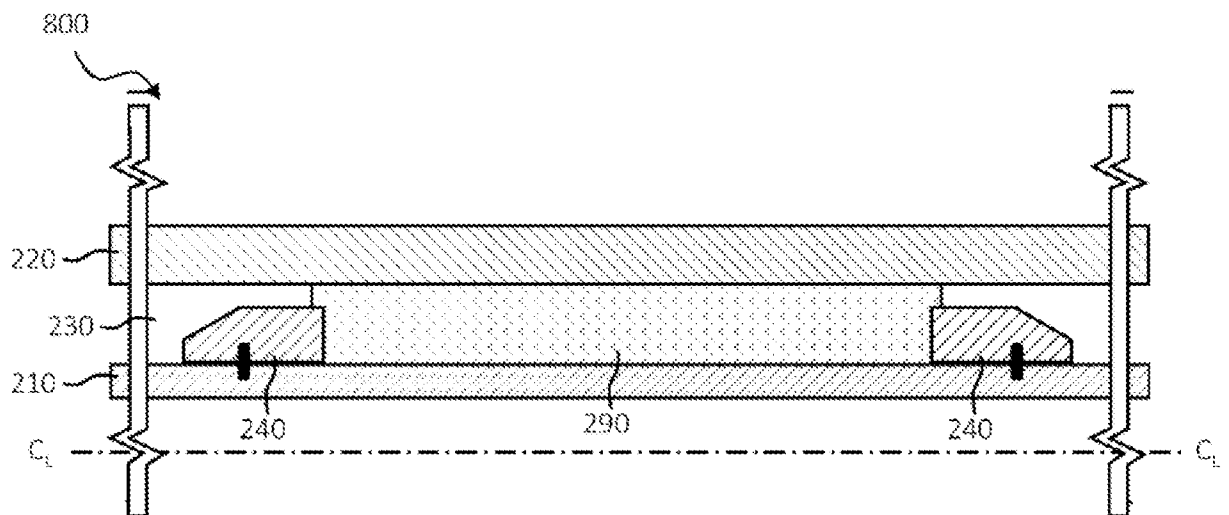


FIGURA 8E

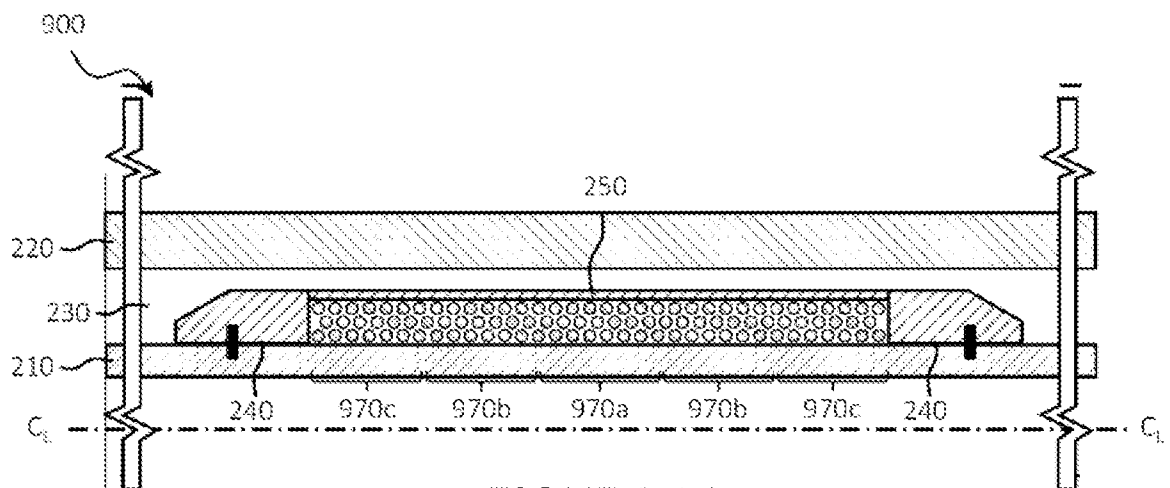


FIGURA 9A

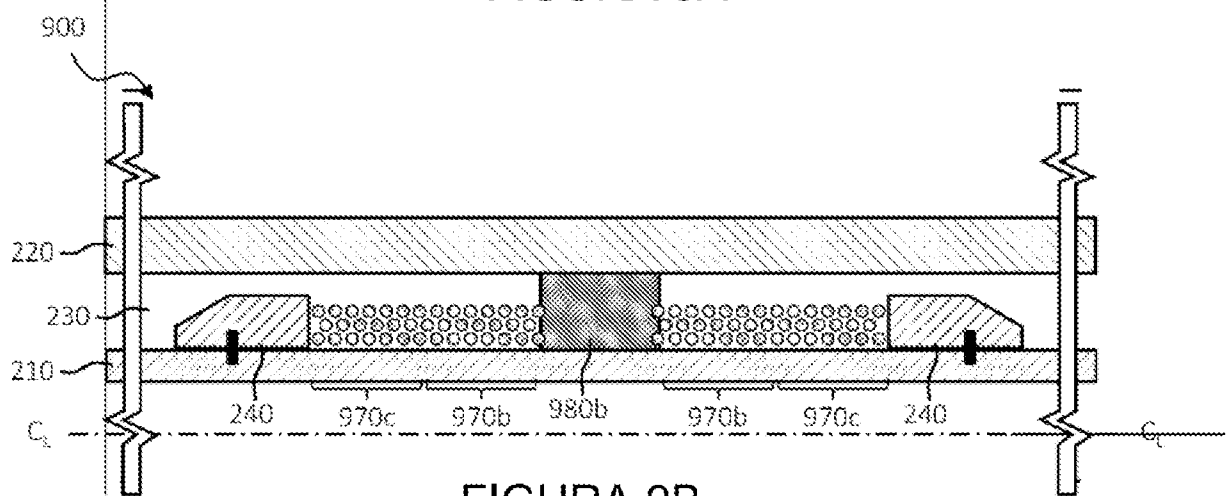


FIGURA 9B

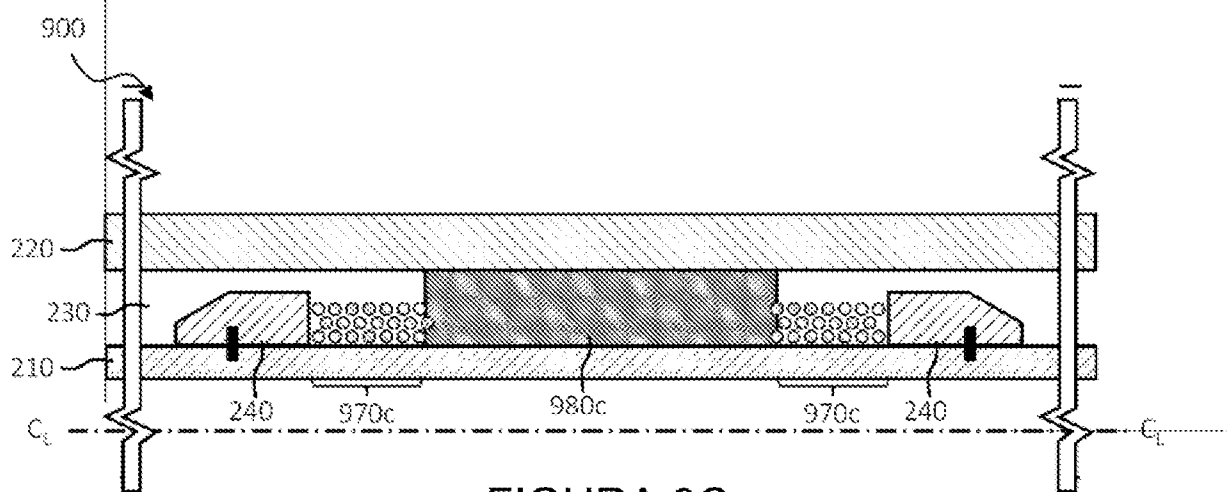


FIGURA 9C

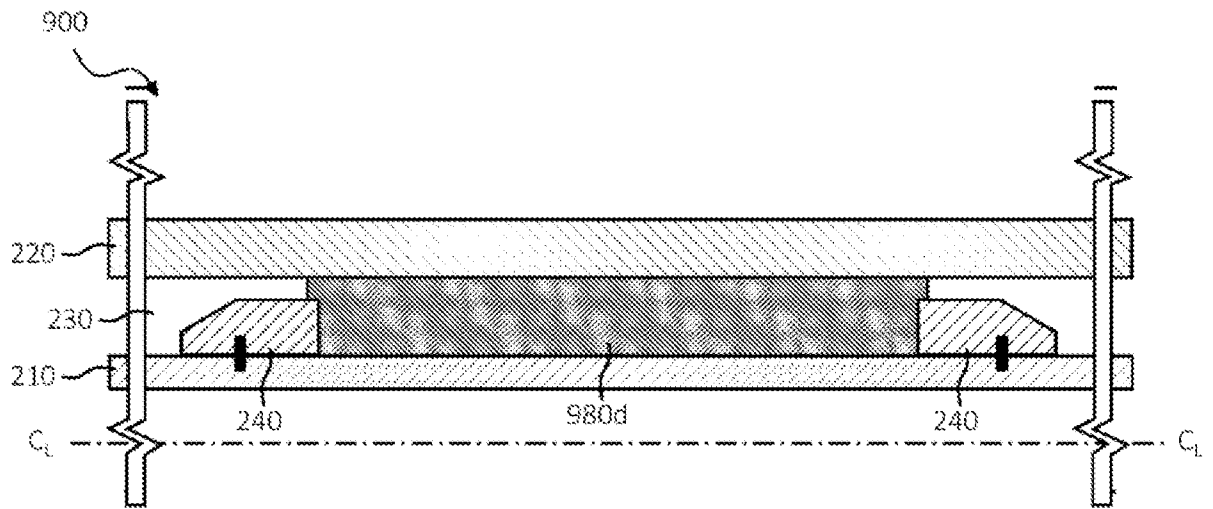


FIGURA 9D

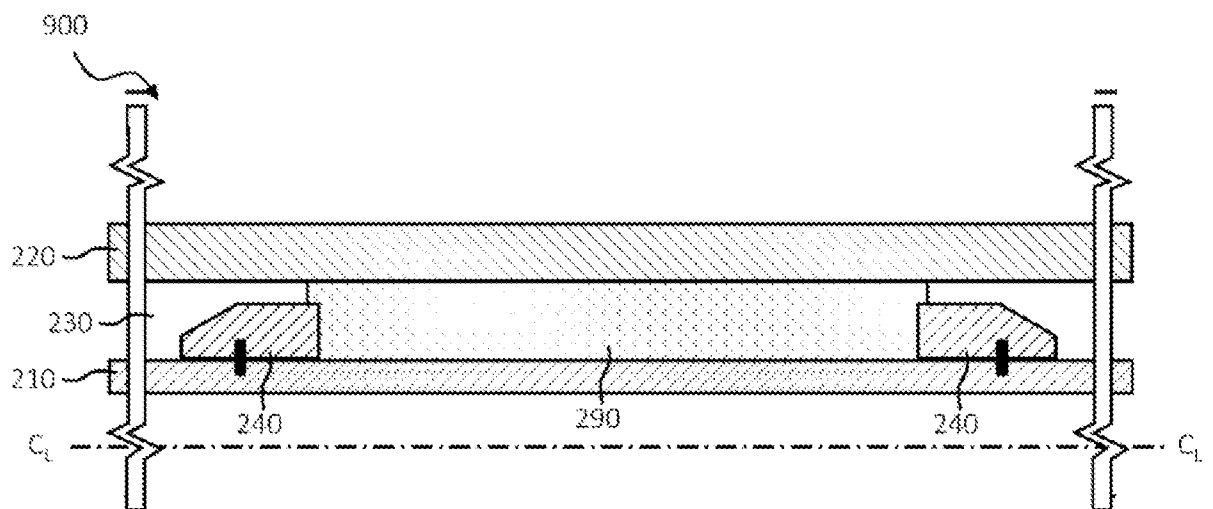
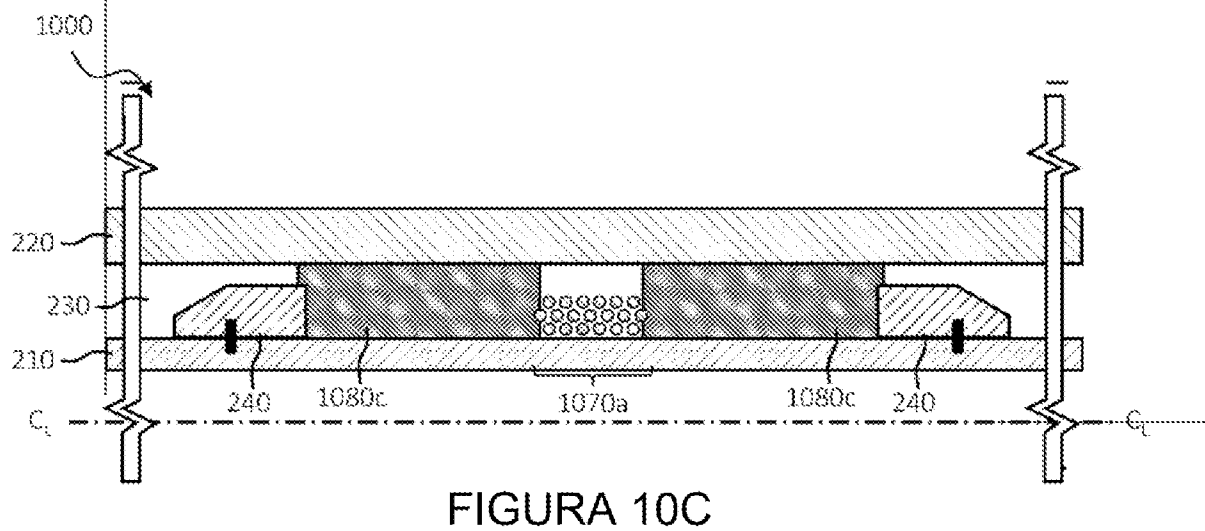
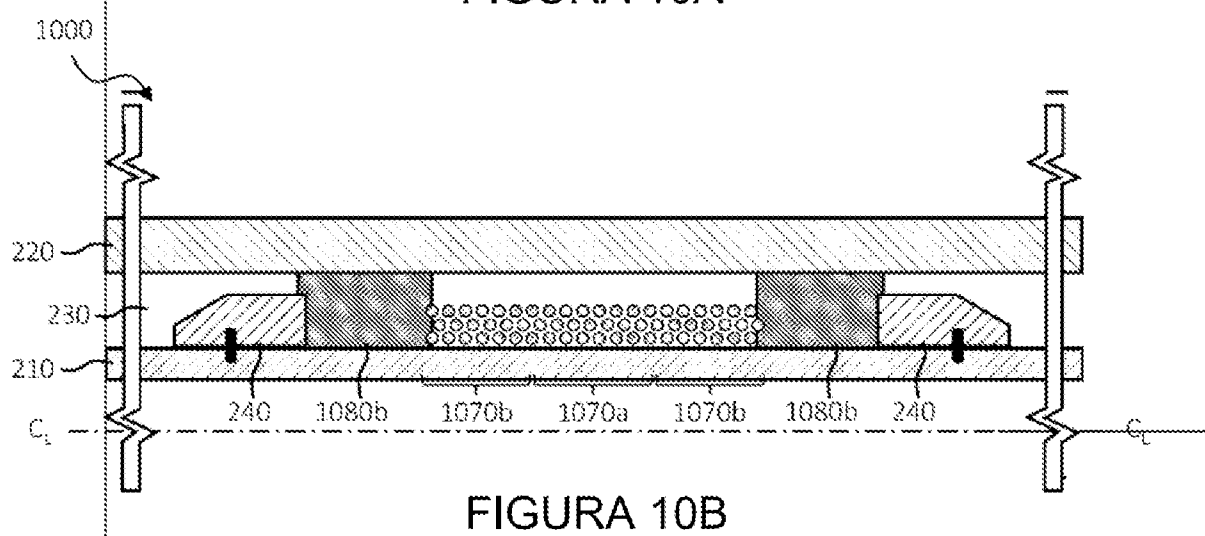
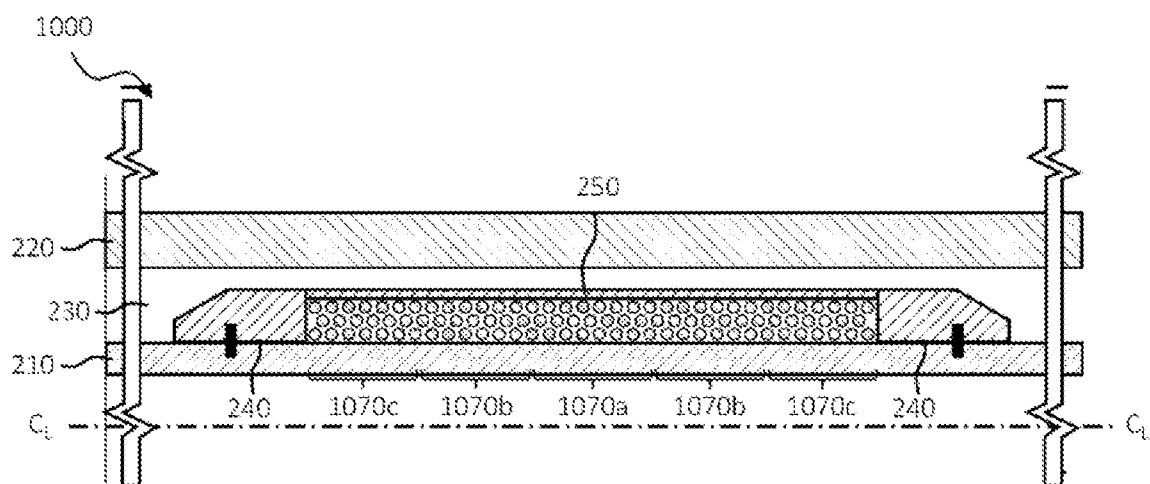
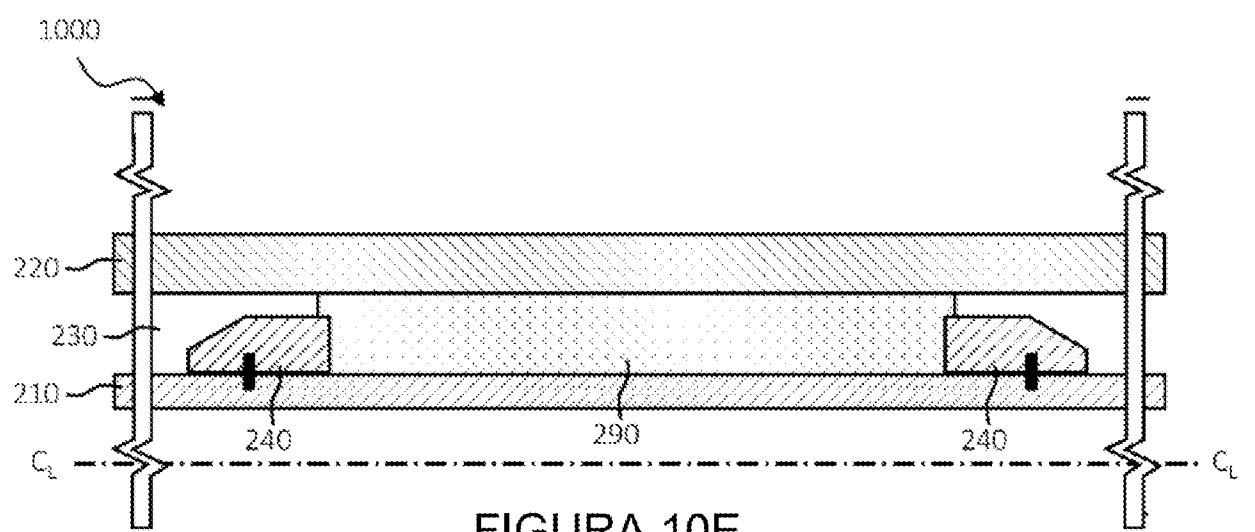
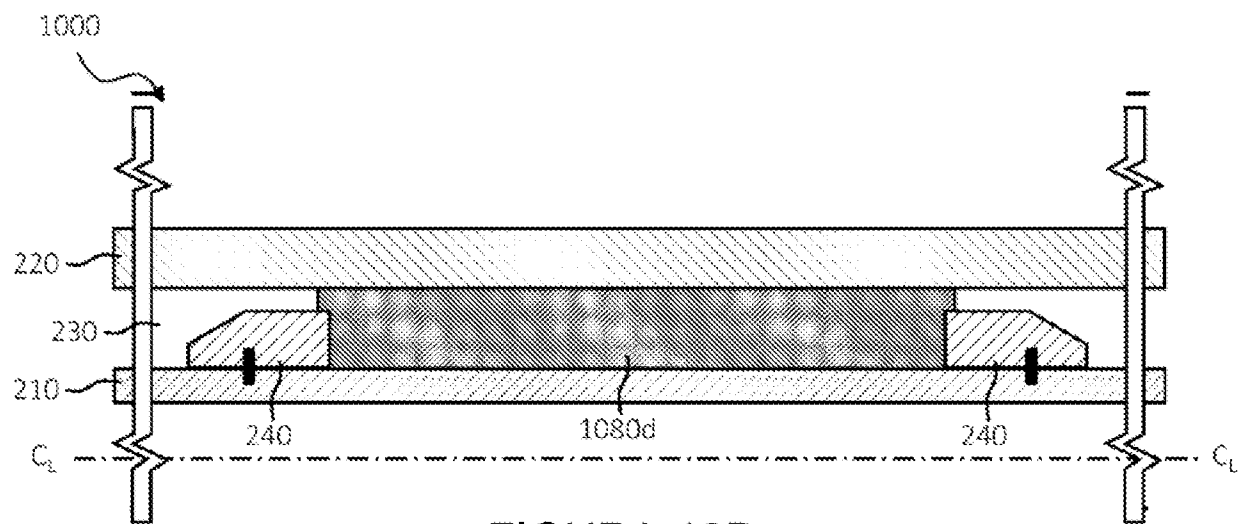


FIGURA 9E





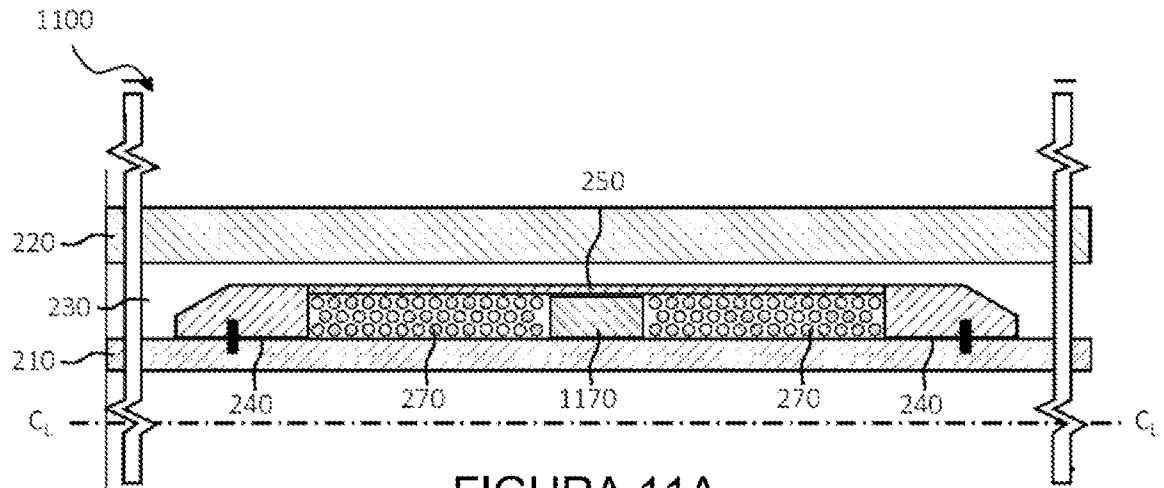


FIGURA 11A

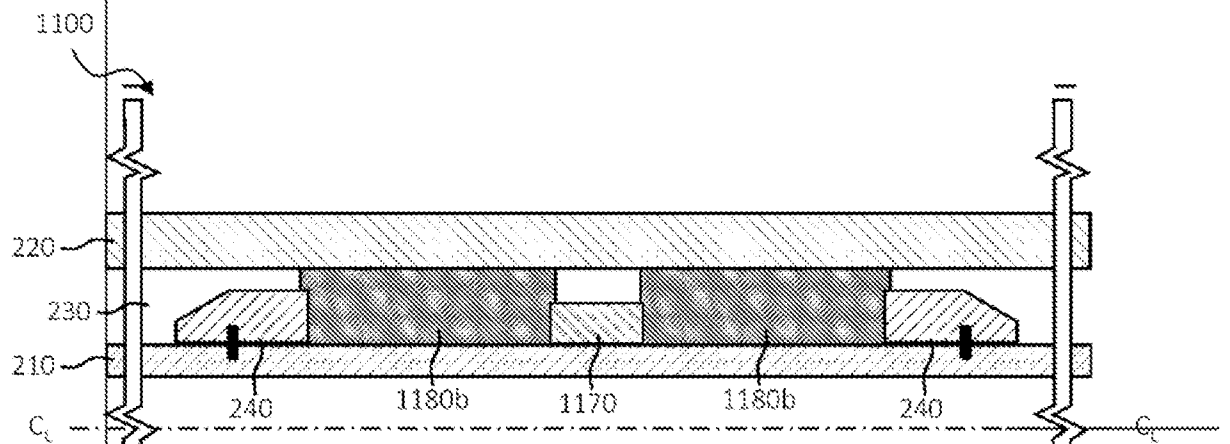


FIGURA 11B

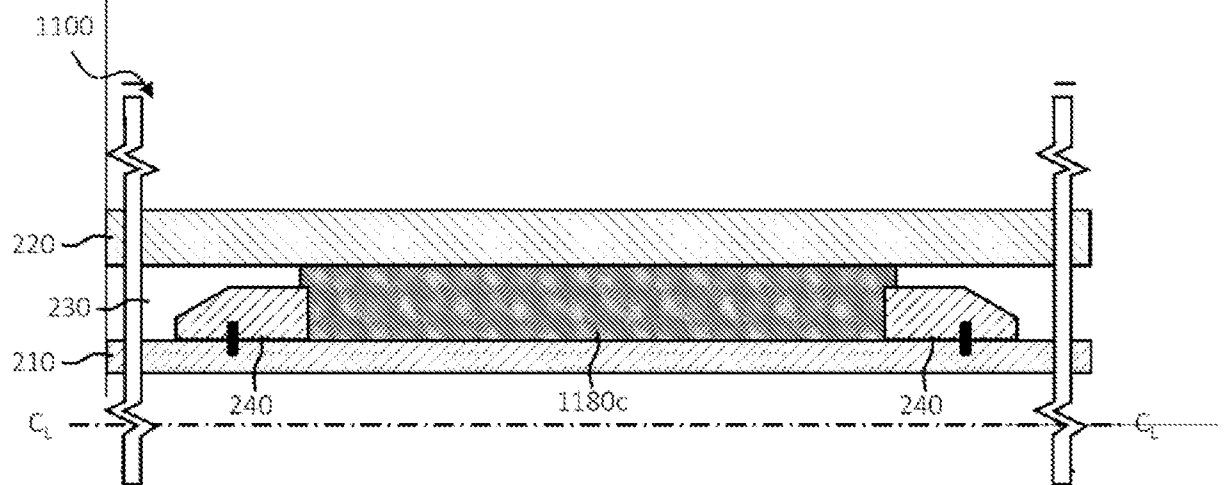
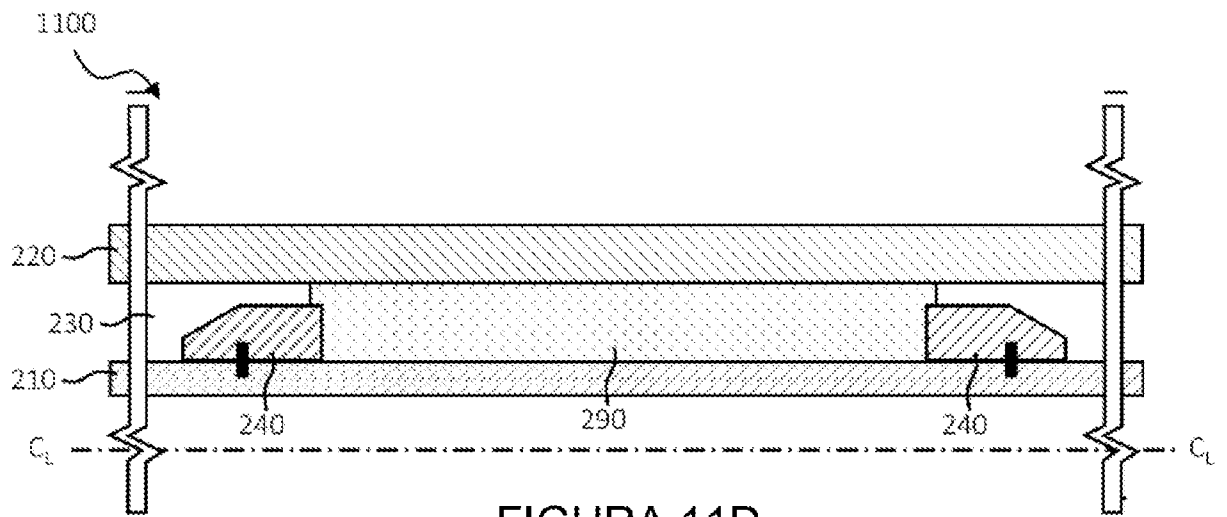


FIGURA 11C



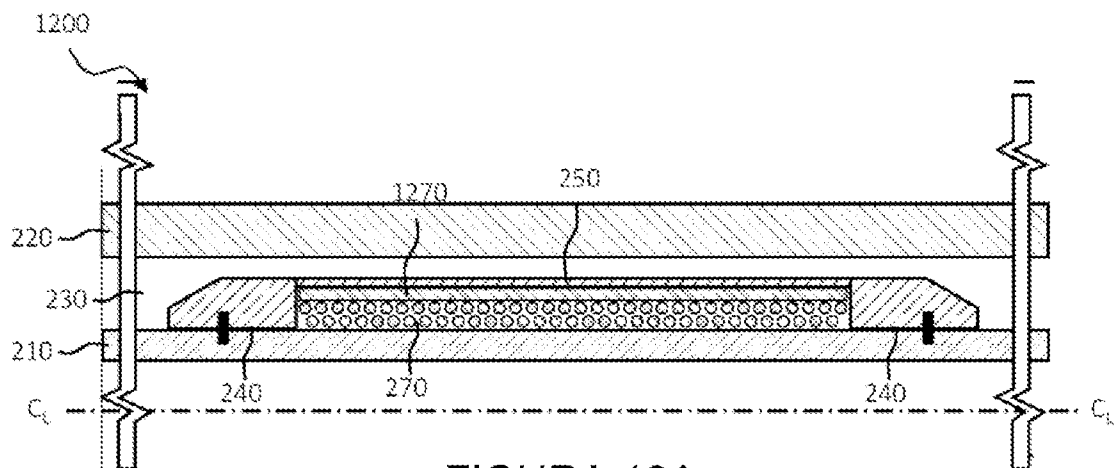


FIGURA 12A

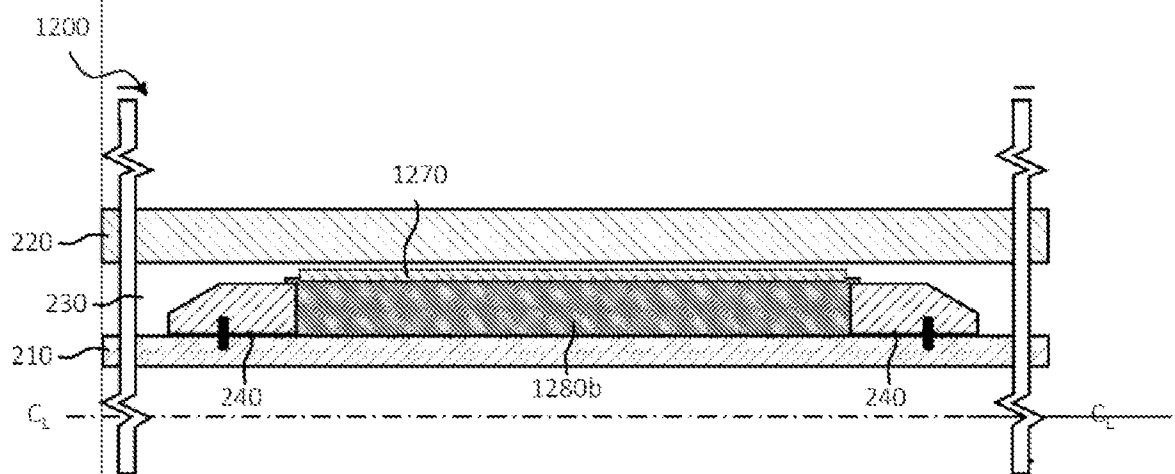


FIGURA 12B

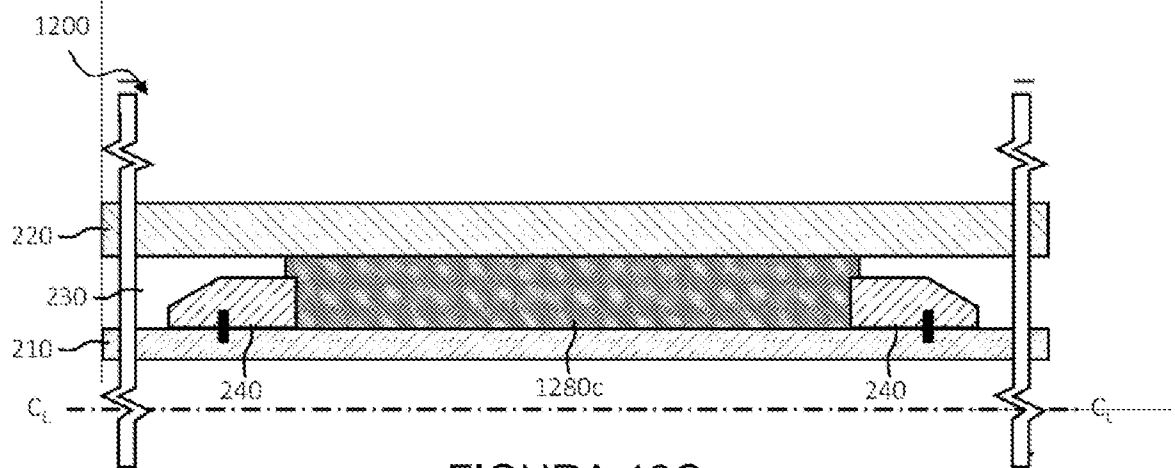


FIGURA 12C

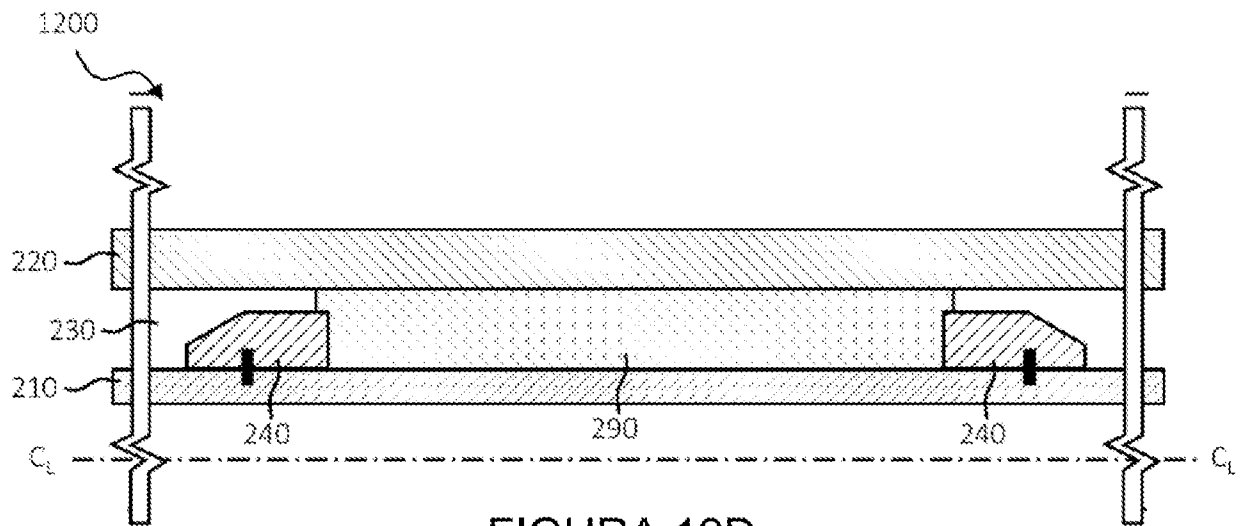


FIGURA 12D

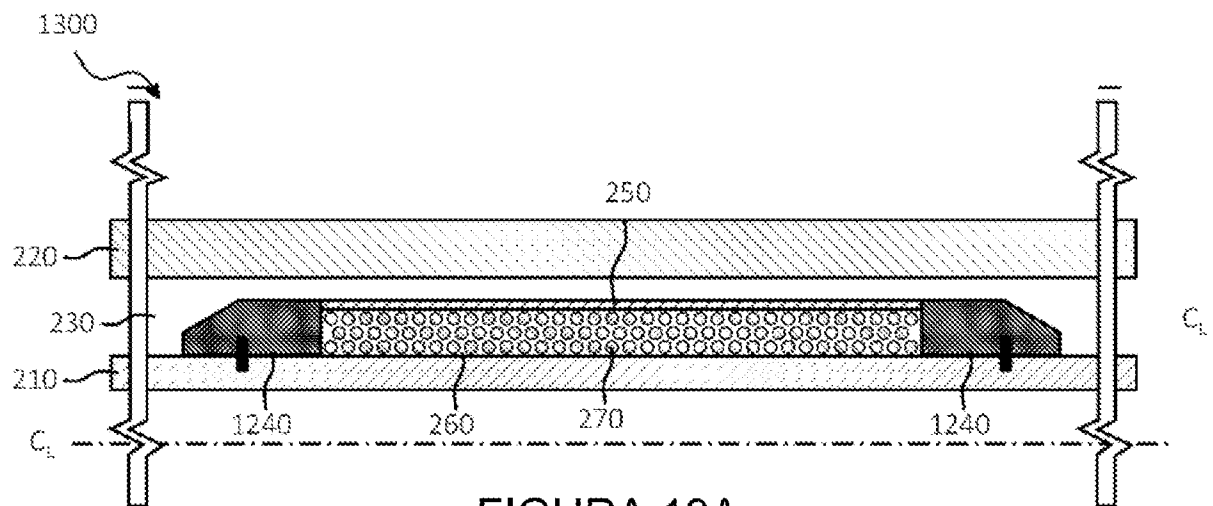


FIGURA 13A

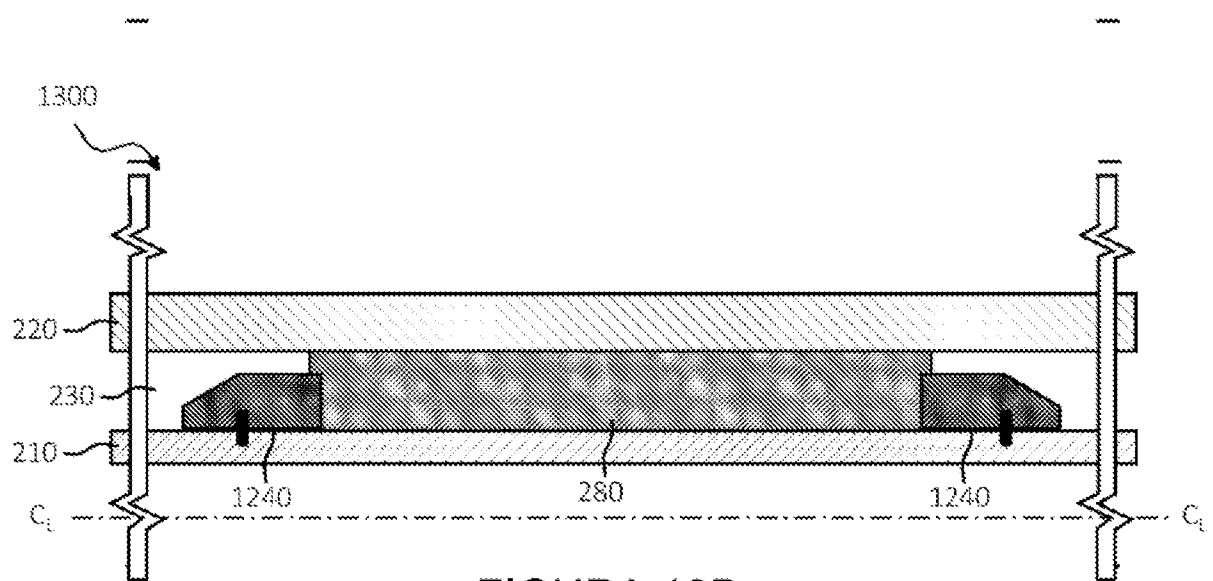


FIGURA 13B

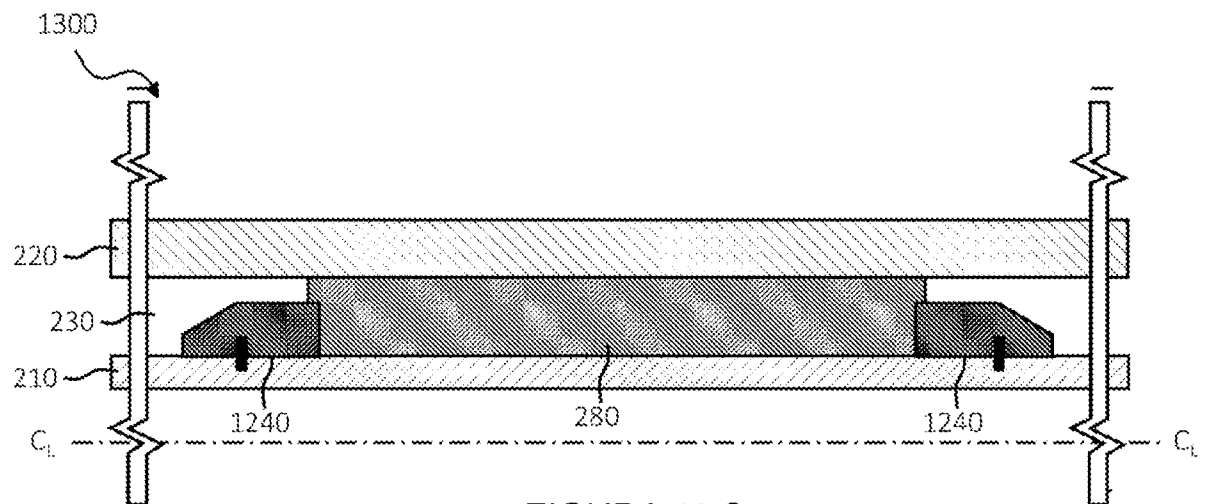


FIGURA 13 C

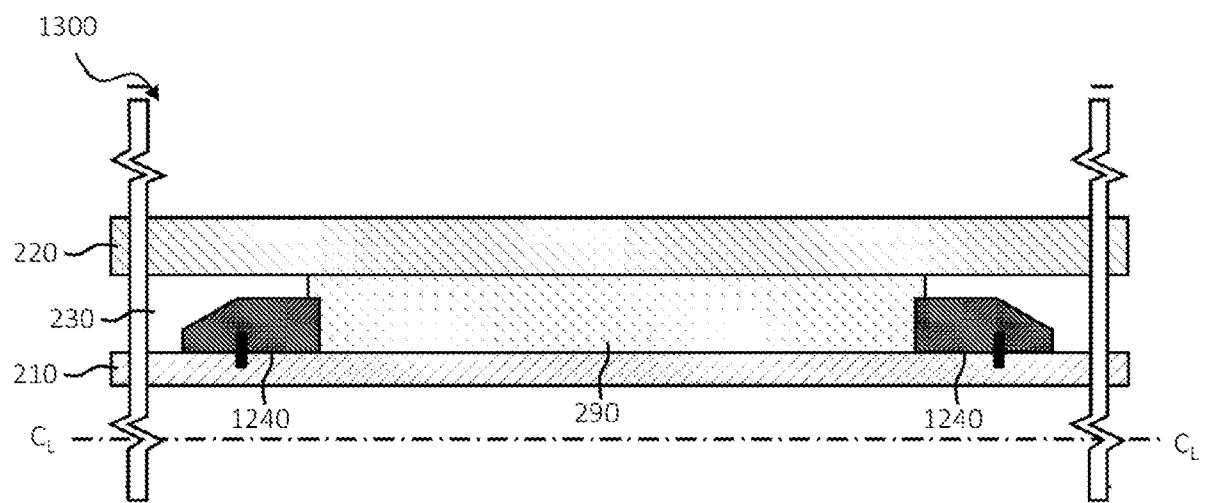


FIGURA 13 D